



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

JUHA-PEKKA LEHTILÄ  
SÄHKÖKÄYTTÖJEN SUUNNITTELU JA TAAJUUSMUUTTAJIEN  
ASENTAMINEN NORELCON KENNOKESKUKSIIN

Diplomityö

Tarkastaja: professori Seppo  
Valkealahti  
Tarkastaja ja aihe hyväksytty  
Tieto- ja sähkötekniikan tiede-  
kuntaneuvoston kokouksessa  
4. tammikuuta 2017

## TIIVISTELMÄ

**JUHA-PEKKA LEHTILÄ:** Sähkökäyttöjen suunnittelu ja taajuusmuuttajien asentaminen Norelcon kennokeskuksiin  
Tampereen teknillinen yliopisto  
Diplomityö, 71 sivua, 2 liitesivua  
Huhtikuu 2017  
Sähkötekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma  
Pääaine: Sähköverkot ja -markkinat  
Tarkastaja: professori Seppo Valkealahti

**Avainsanat:** sähkökäyttö, taajuusmuuttaja, sähkökojeisto, sähkömagneettinen yhteensopivuus

Norelco Oy:n valmistamiin NorPower 5000 -kennokojeistojärjestelmiin on keskusten tilaajien toimesta vaadittu asentamaan erilaisiin sähkökäyttöihin liitettäviä taajuusmuuttajia. Taajuusmuuttajan asentaminen kooltaan vakioituun kennokojeistoon aiheuttaa ongelmia kojeiston lämpenemisen arvioinnissa, jäähdytyksen suunnittelussa sekä sähkömagneettisen yhteensopivuuden vaatimusten täyttämisen keskuksen asennusympäristössä. Vaikka keskuksen tilaaja määrittelee Norelcon valmistamaan keskuksen asennettavan taajuusmuuttajan tyypin, on keskusvalmistajan varmistettava ja todennettava keskuksen lämpenemä, jäähdytyksen riittävyys ja sähkömagneettisten häiriöiden riittävä vaimennus. Kennokojeistojen tulee olla pienjännitestandardin SFS-EN 61439 mukaisia.

Kennokojeiston ohjaamien sähkökäyttöjen suunnittelussa tulee huomioida ohjatun prosessin vaatimukset sekä mahdollinen nopeuden hallinta. Taajuusmuuttajan lisääminen sähkökäyttöön parantaa prosessin säädettävyyttä ja energian säästöä. Sähkökäytön vaatima moottori taas määrää lisättävän taajuusmuuttajan ominaisuudet pääosin momentin profiilikäyrän ja halutun käynnistystavan myötä. Kojestoon asennettavan taajuusmuuttajan muut ominaisuudet perustuvat kuormituksen tyyppiin sekä syöttävään sähköverkkoon.

Taajuusmuuttajan sisältämän kojeiston lämpenemää voidaan arvioida erilaisilla komponenttivalmistajien tarjoamilla ohjelmistoilla. Tällaiset ohjelmistot laskevat käyttäjälle kojeiston tai erillisen tilan lämpenemän sekä jäähdytystehon tarpeen. Käyttäjältä ohjelmisto vaatii tiedot komponenttien ja kiskostojen tehohäviöistä sekä materiaaleista, joista kojeisto koostuu. Joillekin ohjelmistoille tulee myös antaa arvoja asennusympäristön lämpötilasta ja ilman laadusta.

Kojeiston sisältämä tila, johon taajuusmuuttaja asennetaan, tulee EMC-suojata. Taajuusmuuttajatilasta tulee siis muodostaa Faradayn häkki, joka ei päästä EMC-häiriöitä vuotamaan ympäristöön. Säteilevien ja johtuvien EMC-häiriöiden kytkeytyminen muihin komponentteihin on myös estettävä, eli Faradayn häkin tulee jatkaa taajuusmuuttajatilan ulkopuolelle kaapelivalintojen ja kaapeleiden kytkemistapojen avulla. EMC-suojatun tilan aukot, esimerkiksi tuuletusaukot, eivät saa olla standardissa määriteltyjä aukkoja suurempia. Eri taajuusmuuttajavalmistajilla on erilaiset ohjeet koskien taajuusmuuttajien asentamista kojeistoon. Erot valmistajien ohjeiden välillä sekä erot ohjeiden ja standardin välillä johtuvat valmistajien käyttämistä varmuusmarginaaleista esimerkiksi lämpenemän tai kaapeloinnin riittävän suojauksen suhteen.

## ABSTRACT

**JUHA-PEKKA LEHTILÄ:** Designing Electric Drives and Installing Frequency Converters Inside Switchgear Manufactured by Norelco  
Tampere University of Technology  
Master of Science Thesis, 71 pages, 2 Appendix pages  
April 2017  
Master's Degree Programme in Electrical Engineering  
Major: Electrical Networks and Markets  
Examiner: Professor Seppo Valkealahti

**Keywords:** Electric drive, frequency converter, electric switchgear, electromagnetic compatibility

Frequency converters, which will be connected to a variety of electric drives, are being more and more requested by the customer to be installed inside NorPower 5000 -switchgear manufactured by Norelco Oy. The size of the manufactured switchgear and the spaces within it are standardized by Norelco. Installing a frequency converter inside a switchgear brings along difficulties with assessing thermal losses and applying to the demands on electromagnetic compatibility set by the environment in which the switchgear is installed. Norelco must be able to prove the switchgear's thermal losses, adequate cooling and adequate weakening of electromagnetic disturbances. The switchgear must be manufactured according to the standard SFS-EN 61439.

When designing electric drives, one must consider the demands of the controlled process and the control of the process's speed. Adding a frequency converter into an electric drive improves the controllability and energy savings within the process. The motor demanded by the process dictates the qualities of the frequency converter mainly on the basis of the motor's moment curve and desired starting method. The type of the load and the qualities of the feeding electrical network decide the frequency converter's other attributes.

Thermal losses within switchgear which include a frequency converter can be assessed with computer programs provided by different manufacturers of electrical components. These kind of programs calculate the switchgear's thermal losses and the cooling power needed and present them to the user. These programs demand information from the user on power losses by the components, the busbars and the materials used in the switchgear. Some programs also need information on the temperature and the quality of the air in the switchgear's environment.

The space of the frequency converter inside the switchgear must be EMC-protected and so made into a Faraday's cage. The connection between electromagnetic disturbances and other components must be blocked and so the continuance of the Faraday's cage must be confirmed with the right choices on cable types and the methods of connecting these cables. The holes through the sides of an EMC-protected space, for instance the holes needed for cooling, are not allowed to be any larger than those depicted in the standard. Different manufacturers of frequency converters also have different instructions concerning the installation of their frequency converters inside switchgear. The differences between different manufacturers' instructions and the differences between the standard and the manufacturer's instructions are based on the margins used for thermal losses and adequate EMC-protection of the cables by each manufacturer.

## ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Norelco Oy:ssä Savonlinnassa. Työn tarkastajana on toiminut professori Seppo Valkealahti, jota kiitän työtäni kohtaan osoittamastaan mielenkiinnosta ja opastuksesta työn edetessä. Työn ohjaajana toimi Norelco Oy:n toimitusjohtaja DI Ari Hämäläinen, jota kiitän rakentavasta palautteesta, ohjauksesta sekä hyvistä neuvoista. Haluan myös kiittää muita Norelcon työntekijöitä, jotka auttoivat minua tämän työn tekemisessä.

Savonlinnassa, 20.4.2017

Juha-Pekka Lehtilä

## SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO .....	1
2.	YRITYSESIITTELY: NORELCO OY .....	2
3.	NORELCO OY:N KENNOKESKUKSET JA SÄHKÖKÄYTTÖJEN SUUNNITTELU .....	4
3.1	IP-luokitus .....	4
3.2	Rakenteelliset ominaisuudet.....	7
3.3	Kennokeskusten sähkökäytöt .....	8
3.4	Kennokeskusten maadoitukset .....	11
3.5	Kennokeskusten lämpöhäviöt ja jäähdytys .....	14
4.	SÄHKÖMAGNEETTINEN YHTEENSOPIVUUS.....	17
4.1	EMC-häiriöiden kytketyminen.....	17
4.2	Sähkömagneettinen yhteensopivuus kennokeskuksissa.....	19
4.2.1	EMC-kotelointi .....	19
4.2.2	Aukot koteloinnissa.....	21
4.2.3	Kaapelointi EMC-kotelossa .....	22
4.3	EMC-ympäristöt ja niiden vaatimukset.....	23
5.	SÄHKÖKÄYTTÖJEN TAAJUUSMUUTTAJAT.....	26
5.1	Taajuusmuuttajakäytöt ja niiden mitoitus .....	26
5.1.1	Sähköinen jarrutus.....	34
5.1.2	Taajuusmuuttajakäyttöjen esimerkkikaaviot.....	36
5.2	Taajuusmuuttaja EMC-häiriölähteenä.....	37
5.2.1	Taajuusmuuttajien käyttökelpoisuusluokitus.....	38
5.2.2	Taajuusmuuttajien häiriönpoisto.....	39
5.2.3	Häiriönpoisto kaapeloinnissa .....	43
6.	LÄMPENEMÄN HALLINTAAN SOVELTUVAT OHJELMISTOT .....	49
6.1	Schneider Electric: ProClima .....	49
6.2	Rittal: Therm .....	50
6.3	Siemens: SIMARIS therm.....	52
6.4	ABB: OTC.....	53
7.	KENNOKESKUKSIIN ASENNETTAVIEN TAAJUUSMUUTTAJIEN ESIITTELY .....	55
7.1	Taajuusmuuttajan yleisiä asennusohjeita .....	55
7.2	Siemensin taajuusmuuttajat.....	56
7.3	Danfossin taajuusmuuttajat .....	60
7.4	ABB:n taajuusmuuttajat .....	66
8.	YHTEENVETO .....	69
	LÄHTEET.....	72

LIITE A: SÄHKÖKÄYTTÖLÄHTÖJEN ESIMERKKIPÄÄKAAVIO

LIITE B: SÄHKÖKÄYTTÖLÄHTÖJEN ESIMERKKIPIIRIKAAVIO

## LYHENTEET JA MERKINNÄT

UPS	engl. Uninterruptible Power Supply, keskeytymätön virransyöttö
LVIS	lämpö-vesi-ilmanvaihto-sähkö
GIS	engl. Gas-Insulated Switchgear, kaasueristeinen kojeisto
IP-luokitus	engl. International Protection, kansainvälinen kotelointiluokkien järjestelmä
PE	engl. Protective Earth, sähköjärjestelmän suojamaadoitus
N	engl. Neutral, sähköjärjestelmän nolla
EMC	engl. Electromagnetic Compatibility, sähkömagneettinen yhteensopivuus
MOSFET	engl. Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor, metalli-oksidi-puolijohdekanavatransistori
rpm	engl. rounds per minute, kierrosta minuutissa
PWM	engl. Pulse-Width Modulation, pulssinleveysmodulaatio
IGBT	engl. Insulated Gate Bipolar Transistor, eristetyn hilan bipolaaritransistori
VAK	valvonta-alakeskus
RFI	engl. Radio Frequency Interference, radiotaajuinen häiriö
HVAC	engl. Heating, Ventilation and Air-Conditioning, lämmitys, tuuletus ja ilmastointi

$T$	vääntömomentti
$P$	teho
$n$	pyörimisnopeus
$f$	syöttävän verkon taajuus
$p$	oikosulkumoottorin napaluku
$\Delta n$	moottorin absoluuttinen jättämä
$n_s$	tahtinopeus
$R$	resistanssi
$\rho$	resistiivisyys
$l$	pituus
$A$	poikkipinta-ala
$P_h$	häviöteho
$I$	kuormitusvirta
$d$	etäisyys
$\lambda$	aallonpituus
$\sigma$	johtavuus
$\mu$	permeabiliteetti
$\psi$	magneettivuo
$T_s$	käynnistysmomentti
$T_n$	nimellinen momentti
$L$	induktanssi
$C$	kapasitanssi
$P_{syst}$	järjestelmän lämpenemä
$P_d$	koteloon asennettujen komponenttien ja kiskostojen yhteenlaskettu lämpöhäviö
$T_{s,max}$	korkein haluttu lämpötila kotelon sisällä

$T_{e,max}$	kotelon korkein lämpötila
$K_l$	kerroin
$S$	kerroin
$P_{flow}$	järjestelmän tarvitsema ilmanvaihtoteho
$f_l$	kerroin
$T_{s,min}$	matalin haluttu lämpötila kotelon sisällä
$T_{e,min}$	kotelon matalin lämpötila

.



# 1. JOHDANTO

Taajuusmuuttajia käytetään kiinteistöjen ilmanvaihdossa ja teollisuuden ilmanvaihdossa sekä prosesseissa nopeuden hallintaan ja energian säästösyistä. Taajuusmuuttajan yhdistäminen sähkökäyttöön tekee myös prosessista paremmin säädettävän. Suunniteltaessa erilaisiin prosesseihin sopivia sähkökäyttöjä, tulee prosessin halutut ominaisuudet ja vaatimukset selvittää tarkkaan ja näiden mukaan valita soveltuva moottori. Moottorin valinta taas määrittelee käytettävän taajuusmuuttajan. Taajuusmuuttajien asennus on yleisesti tapahtunut seinälle jäähdytyksen helpottamiseksi, mutta Norelco Oy:n asiakkaat vaativat yhä useammin erilaisten taajuusmuuttajien asentamista erilliseen koteloon tai keskukseen seinäasennusten sijaan. Kooltaan vakioidun NorPower 5000 -kennokojeiston lämpenemään ja sähkömagneettiseen yhteensopivuuteen taajuusmuuttajan asentamisella on kuitenkin suuri vaikutus. Osaa taajuusmuuttajavalmistajien taajuusmuuttajista ei voida niiden ominaisuuksien tai koon takia kennokojeistoon asentaa. Tämän diplomityön tarkoituksena on esitellä ongelmakohtia asennettaessa taajuusmuuttajaa kennokojeistoon ja tarjota ratkaisuja ongelmien tunnistamiseen ja vähentämiseen.

Luvussa 2 esitellään yritys, johon diplomityö tehdään. Luvussa 3 käydään läpi NorPower 5000 -kennokojeistojärjestelmän rakennetta ja rakenteeseen vaikuttavia asioita. Lisäksi esitellään sähkökäyttöjen suunnittelun perusteita, kennokojeistojen maadoitusten toteutuksen kannalta merkittäviä sähköverkkojärjestelmätyyppien ominaisuuksia sekä kennokeskusten lämpenemän ja jäähdytyksen laskennallista ja kokeellista mallintamistapaa. Neljännessä luvussa käsitellään sähkömagneettista yhteensopivuutta (EMC). Luvussa esitellään EMC-häiriöiden kytkeytymistä muihin laitteisiin ja kaapeleihin sekä sähkömagneettisen yhteensopivuuden toteuttamista kennokeskuksissa koteloinnin, kotelon aukkojen ja kotelossa tapahtuvan kaapeloinnin kannalta. Luvussa 4 käydään edelleen läpi sähkömagneettisen yhteensopivuuden määrittelevän standardin rajat häiriöpäästöille erilaisissa asennusympäristöissä.

Taajuusmuuttajakäyttöjen mitoitus, taajuusmuuttajien toiminta EMC-häiriölähteenä sekä häiriönpoisto esitellään luvussa 5. Häiriönpoistossa keskitytään taajuusmuuttajatilän ominaisuuksiin sekä kaapelointiin. Luvussa 6 tuodaan esille neljä eri komponentti- ja jäähdytysjärjestelmävalmistajien ohjelmistoa, joilla pystytään arvioimaan kennokojeistojen lämpenemää sekä lämmönpoistoon tarvittavaa jäähdytystehoa. Luvussa 7 esitellään kolmen eri taajuusmuuttajavalmistajan taajuusmuuttajatuotesarjoja, joita voidaan niiden ominaisuuksien perusteella asentaa kennokojeistoihin. Lisäksi käydään läpi keskusasennusten kannalta tärkeimmät kohdat taajuusmuuttajasarjojen asennusohjeista.

## 2. YRITYSESITTELY: NORELCO OY

Norelco Oy on Savonlinnaan vuonna 1962 perustettu kojeistovalmistuksen ja -asennuksen perheyritys. Savonlinnan pääkonttorin, tehtaan ja erillisen keskijännitetehtaan lisäksi yrityksellä on asuntokeskuksiin erikoistunut tehdas Kuopiossa sekä myyntikonttori Vantaalla. Norelco on erikoistunut pien- ja keskijännitekojeistoihin sekä muuntamoihin ja sähköasemiin. Lisäksi yritys tarjoaa myös muita kojeistoihin liittyviä palveluita, kuten esisuunnittelua, asennusten muutostöitä, huoltotöitä, väyläkojeiden asettelua, kojeiden parametrisointia sekä varaosien toimitusta. Norelco myös koestaa ja tarkastaa itse valmistamansa keskuksat, minkä lisäksi kojeistoja on moneen otteeseen tyyppitestattu riippumattomissa laboratorioissa EN- ja IEC-normien mukaisesti. Suomen kojeistovalmistus- alalla Norelco on markkinajohtaja ja merkittävä tekijä myös Euroopan markkinoilla. Yrityksen viennin osuus on noin 25 %, joten suurin osa toimituksista menee erilaisille työmaille Suomessa.

Yrityksen liiketoiminta-alueet ovat energia, teollisuus sekä rakentaminen. Energiateollisuuden bio-, vesi-, kombi-, tuuli-, aurinko-, hake-, turve- ja hiilivoimalaitoksiin Norelco valmistaa modulaarisia keskijännitekojeistoja ja pienjännitemoottorilähtökeskuksia. Valmistamiinsa sähköasemiin yritys varustaa DC-keskuksen, UPS:n, akkuvarmistuksen sekä tarvittavan LVIS:n. Sähköasema-asennuksiin valmistetaan tehtaissa myös vaunukatkaisijakojeistoja. Erilaisista muuntamoista yritys valmistaa puistomuuntamoita, etäkäytettäviä erotinasemia sekä maaseutukatkaisijoita. Maakaapeliverkkojen tarpeisiin Norelco toimittaa kaapelijakokaappeja, haaroituskaappeja sekä keskijännitehaaroituskaappeja. Lisäksi yritys valmistaa erikoistuotteita jakeluverkkoon, kuten GIS-kojeistoja ja keskijännitekompensointikojeistoja. Energiateollisuuteen tehdään myös sähköasema-, muuntamo- ja kojeistosaneerauksia.

Teollisuuden prosesseihin, kuten kaivos- ja metalliteollisuuden sulattoihin Norelco valmistaa pää- ja ohjauskeskuksia. Kojetoja yritys tarjoaa myös paperi- ja selluprosesseihin sekä erilaisten tuotantokoneiden ja generaattorien ohjauksiin. Näiden lisäksi Norelco tuottaa jäteveden- ja vedenpuhdistamoiden pienjännite- ja keskijännitekojeistoja sekä moottorilähtökeskuksia ja kemiallisten prosessien sekä ruokateollisuuden kojeistoja.

Kaupallisten ja julkisten rakennusten sekä asuntorakentamisen tuotteita yrityksellä ovat modulaariset keskijännitekojeistot, kiskosillat ja pää-, nousu- ja jakokeskuksat. Rakennuksille yritys tuottaa myös ilmanvaihto- ja ohjauskeskuksia, pienkeskuksia esimerkiksi hotellien huoneistokeskuksiksi sekä kompensointijärjestelmiä. Kojetoja toimitetaan edelleen infrastruktuurin, metro- ja junaverkoston sekä lentokenttien tarpeisiin ja datakeskuksiksi. Myös urheilukeskusten ja monitoimihallien kojeistot sekä erilaisten mittauskeskusten valmistus kuuluvat Norelcon toiminnan piiriin.

Asiakkaan tilaamat tuotteet pyritään toteuttamaan optimaalisin kustannuksin räätälöimällä kojeistot projektikohtaisesti säilyttämällä samalla standardienmukaisuus ja tuotteen laatu. Kustannustehokkuus ja laadun varmistus taas vaativat tehokasta toiminnanohjausta. Näin ollen yritys käyttää toiminnassaan Lean-toimintamallia. Toimintamalliin kuuluu, että kaikki ylimääräiset prosessit ja valmistusajat on poistettu yksittäisen kojeiston kulkiessa valmistuksen läpi. Myös turhat varastot ja samalla varastointikustannukset on karsittu. Toimimalla näin, yritys pääsee toiminnassaan mahdollisimman kustannustehokkaaksi ja kojeistot ovat laadultaan yhdenmukaisia. Lean-toimintamallin lisäksi toteutetaan yrityksessä toiminnan jatkuvaa parantamista ja loppuasiakkaiden sekä muiden sidosryhmien toiveet ja palaute otetaan menettelyissä huomioon.

Norelco tekee yhteistyötä kojeistoprojektin eri sidosryhmien kanssa. Projektin onnistumisen ja aikataulun kannalta kriittisimmät sidosryhmät ovat kojeiston loppukäyttäjä, kojeiston tilaaja, tavarantoimittajat sekä sähkösuunnittelutoimisto. Loppukäyttäjä voi olla myös sama kuin tilaaja, mutta yleensä alihankkija tilaa kojeiston Norelcolta oman asiakkaansa käyttöön. Kojeistosuunnittelussa tehdään tiivistä yhteistyötä sekä sähkösuunnittelutoimiston että tilaajan kanssa, sillä tilaaja on kojeistoa tilatessaan hankkinut sähkökaavioiden piirron suunnittelutoimistolta. Sähkösuunnittelutoimisto toimittaa piirtämänsä kaaviot Norelcolle, joiden mukaan itse kojeisto suunnitellaan. Kojeistosuunnittelussa pyritään yhdistämään vakioituneet toimintatavat asiakkaan ja sähkösuunnittelutoimiston vaatimusten ja toiveiden kanssa. Norelcolla esimerkiksi runkokoot on vakioitu, jotta valmistus on nopeaa ja tasalaatuista, mutta sähkökaavioissa haluttujen lähtöjen ja kojeiden sijoittelua voidaan standardien sallimissa rajoissa muuttaa.

### 3. NORELCO OY:N KENNOKESKUKSET JA SÄHKÖKÄYTTÖJEN SUUNNITTELU

Norelco Oy valmistaa modulaarisia NorPower 5000 -kennokeskusjärjestelmiä asiakkaiden tarpeisiin räätälöityinä. Modulaarisuus mahdollistaa ratkaisut hyvinkin erilaisiin tarpeisiin. Kennokojeistoja valmistetaan esimerkiksi prosessiteollisuuden moottorikeskukseksi kasettilähdöillä, voimalaitosten prosessinohjauskeskukseksi, kiinteistöjen sähköjakeluun pääkeskukseksi sekä DC-käyttö- ja automaatiokeskukseksi. Sähköasennusten pääkeskus on keskus, johon tuodaan sähköenergia käyttöpaikalla vallitsevasta jakeluverkosta, generaattorista tai muuntajasta ja josta sähkö jaetaan nousu- ja ryhmäkeskukseen [1]. Käyttöpaikan sähköenergian mittauslaitteet sijaitsevat myös usein pääkeskuksessa [1].

Keskusten valintaan tilausvaiheessa vaikuttavat hinnan lisäksi sähköasennuksia koskevat säädökset ja standardit, sillä pienjännitekeskukset ovat oleellinen osa sähköasennusta. Pienjännitteiseksi keskuksiksi lasketaan vaihtosähköllä mitoitusjännitteeltään enintään 1000 V:n ja tasasähköllä enintään 1500 V:n keskukset [1]. Mitoitusjännite NorPower 5000 kennokeskuksissa on välillä 400...690 V vaihtosähköllä. NorPower 5000 -kennokeskukset valmistetaan SFS-EN 61439 pienjännitekeskusstandardin mukaisesti. SFS-EN 61439 pienjännitekeskusstandardin perustana olevien sähkölaitteistojen turvallisuutta koskevien päätösten tärkeimpiä vaatimuksia on kosketussuojauksen toteuttaminen eristyksillä tai koteloinneilla [1]. Kosketussuojaus puolestaan tarkoittaa toimenpiteitä, joilla henkilöitä estetään ajautumasta esineiden tai kehon osien välityksellä liian lähelle osia, joissa esiintyy vaarallisia jännitteitä [1]. Kotelointia varten tarkoitettuja keskustiloja ovat erillisellä kosketussuojalla, peitelevyllä tai kannella rajoitetut keskuksen sisäiset tilat komponentteineen [1].

#### 3.1 IP-luokitus

Sähkökeskuksiin liittyvät läheisesti myös kotelointiluokat, joita kutsutaan myös IP-kodeiksi. IP-koodi muodostuu kotelointiluokajärjestelmän tunnuskirjaimista IP sekä siihen liitettävistä numeroista ja tarvittaessa lisäkirjaimista ja on muotoa IPXX(X). Järjestelmän tunnuskirjainten jälkeinen ensimmäinen numero kuvaa kotelon kosketus-, vierasaine- ja pölynsuojausastetta numeroilla 0...6. Suojaustaso 0 tarkoittaa, ettei vaatimuksena ole mitään suojasta ja taso 1, että halkaisijaltaan 50 mm:n pallo ei pysty tunkeutumaan koteloinnin sisään eli henkilön kädenselän tai nyrkin kosketus vaarallisiin osiin on estetty. Kotelointitaso 2 määrittelee, ettei halkaisijaltaan 12,5 mm:n pallo eli henkilön sormi pysty tunkeutumaan kotelointiin ja taso 3, ettei halkaisijaltaan 2,5 mm:n esine, esimerkiksi työkalu, pysty tähän. Tasojen 4, 5 ja 6 ehtona on, että estetään halkaisijaltaan 1,0

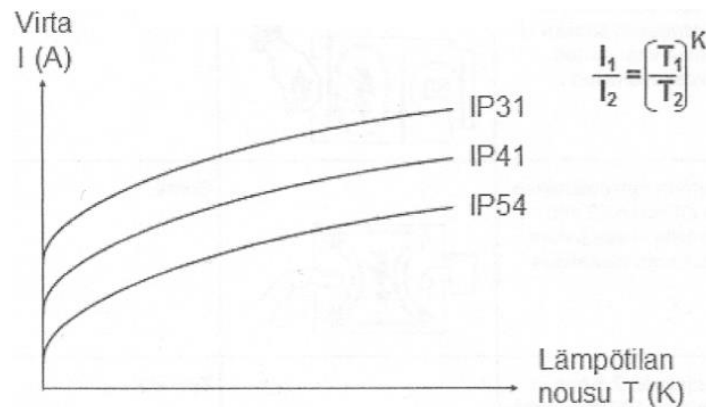
mm:n esineen, esimerkiksi johdinlangan, tunkeutuminen koteloinnin sisään. Kotelointitasossa 5 on sallittu rajoitettu pölynkertymä kotelossa, kun taas tason 6 kotelointi on täysin pölyltä suojattu. [1]

IP-koodin toinen numero kuvaa koteloinnin vesisuojastusta numeroilla 0...9. Kuten edellä, tarkoittaa 0-taso suojaamatonta koteloä. Suojaustason 1 kotelointi suojaa pystysuoraan pisaroina putoavalta vedeltä. Kotelointitaso 2 vaatimuksena on, että kotelo suojaa pystysuoraan tippuvalta vedeltä, kun kotelo on enintään 15° kulmassa pystysuorasta ja tason 3 vaatimuksena tämä kulma on enintään 60°. Tason 4 kotelointi suojaa joka suunnasta tulevalta roiskevedeltä, tason 5 kotelointi joka suunnasta tulevalta suihkevedeltä ja tason 6 kotelointi joka suunnasta tulevalta korkeapaineiselta suihkevedeltä. Kotelointi tasolla 7 velvoittaa, että kotelo kestää lyhytaikaisen upottamisen 15cm...1m syvyiseen veteen ja tasolla 8, että kotelo kestää jatkuvan veden alle upottamisen. Tason 9 kotelointi kestää näiden lisäksi kuuman painepesun. Tasojen 1...5 tapauksissa on rajoitettu veden sisään tunkeutuminen sallittu. [1]

IP-koodin lisäkirjain A, B, C tai D kuvaa vielä tarkemmin vaatimusta kotelon kosketussuojaukselle. Lisäkirjainta A käytetään tarvittaessa koodin ensimmäisen numeron 0 yhteydessä ja se määrittelee, että henkilön kädenselän tai nyrkin tunkeutuminen koteloon esteeseen saakka ei saa johtaa vaarallisen osan koskettamiseen. Kirjainta B käytetään ensimmäisten numeroiden 0 ja 1 yhteydessä ja sen vaatimuksena on, ettei henkilön sormen tunkeutuminen enintään 80 mm:n etäisyydelle kotelon sisään aiheuta kosketusta vaarallisen osan kanssa. Kirjain C esiintyy tarvittaessa ensimmäisten numeroiden 1 ja 2 yhteydessä ja sen myötä halkaisijaltaan 2,5 mm:n ja pituudeltaan 100 mm:n johdinlanka ei saa koskettaa vaarallisia osia, kun pallomainen pysäytyspinta on osittain saavutettu. Kirjainta D käytetään ensimmäisten numeroiden 2 ja 3 yhteydessä ja sen ero kirjaimeseen C on, että johdinlanka saa olla halkaisijaltaan enintään 1,0 mm. Lisäkirjainten jälkeen voi IP-koodissa olla vielä täydentävä kirjain H, M, S tai W tai niiden yhdistelmä. Kirjainta H voidaan käyttää, kun kyseessä on suurjännitelaitte. Kirjainta M käytetään, kun laitteen kotelointiluokka on testattu laitteen ollessa käynnissä ja kirjainta S, kun kotelointiluokka on testattu laitteen ollessa pysähdyksissä. Täydentävä kirjain W taas kertoo, että laite on testattu erityisiin sääoloihin. [1]

Keskusten kotelointiluokat valitaan asennuspaikan olosuhteiden mukaan. Yleensä pyritään valitsemaan keskuksen sijoituspaikaksi tila, jossa kotelointiluokka olisi mahdollisimman alhainen. Varsinkin IP-koodin ensimmäisen numeron vaatimuksia tulisi miettiä tarkkaan, sillä mitä tiiviimpi keskukselta tehdään vieraita esineitä vastaan, sitä hankalampi on arvioida keskuksen lämpenemistä ja vaikuttaa siihen. Vieraiden esineiden koteloon tunkeutumisen estävä tiiveys myös huonontaa keskuksen jäähtymistä.

Kuvassa 1 on esitetty periaatekuva kennokojeiston kiskojärjestelmän lämpötilan noususta kuormitusvirran noustessa. Kuvasta nähdään, että jo yhtäkin luokkaa korkeampi kotelointitaso muuttaa merkittävästi kiskoston lämpenemistä. Korkeampi kotelointiluokka tuo myös usein lisää hintaa keskukselle.



**Kuva 1.** Periaatekuva lämpötilan noususta kiskojärjestelmissä kuormitusvirran mukaan eri kotelointiluokissa [1].

NorPower 5000 -kennokeskusjärjestelmät kootaan Norelcon itse valmistamista modulaarisista kuumasinkitystä teräslevystä muodostuvista vakio-osista ja liitokset toteutetaan pulttiliitoksina. Kuivaan tilaankin asennetun keskuksen yläpinta tulisi olla kotelotasoltaan sen verran tiivis, etteivät pöly tai putoavat työkalut pääse aiheuttamaan haittaa keskuksen sisällä. Norelcon kennokeskukset valmistetaan näin ollen täyttämään IP-luokan IP20 vaatimukset myös kansien ollessa auki. IP20-luokka on myös Suomessa alhaisin sallittu tiiveysluokka sähkökeskukselle, joka on toteutettu ulkoisena koteloituna rakenteena [1]. Lämmön nousu ja haihtuminen keskukselta häiriintyy kuitenkin merkittävimmin juuri keskuksen yläpinnan tiivistämisestä. IP-luokaltaan tiivein NorPower 5000 -kennokeskus puolestaan on ominaisuuksiltaan IP54-luokkaan tiivistetty keskus.

IP20- ja IP30-luokituksen toteuttava NorPower 5000 -kennokeskus on suojaamaton sisään tunkeutuvalta vedeltä ja kojeistoa ei ole tiivistetty. IP31-luokan kennokojeisto suojataan standardin mukaisesti pystysuoraan tippuvalta vedeltä, joten Norelco tiivistää keskuksen katon ja läpiviennit sekä käyttää keskuksessa IP54-luokan paineenpurkausluokkuja. IP44-luokan kennokojeistossa tiivistetään IP31-luokan keskuksen tiivistysten lisäksi koristelistoitus, sivulevyt ympäriinsä sekä takalevyt päätyrunkojen osalta ja ylä- ja alareunoista. Ovina IP44-luokan kojeistossa on saman luokituksen ovet, jotka myös tiivistetään. Myös keskuksen ovien ja ovisaranoiden väliin asennetaan tiiviste. IP54-luokituksen tiivistettävä kennokojeisto toteutetaan vastaavasti kuin IP44-luokan keskus, mutta lisäksi vaaditaan MC-laippojen luokituksiksi IP54. Kyseisen keskuksen takalevyt tiivistetään jokaisesta saumasta ja koristelistan ja runkosaranan väliin asennetaan tiiviste.

## 3.2 Rakenteelliset ominaisuudet

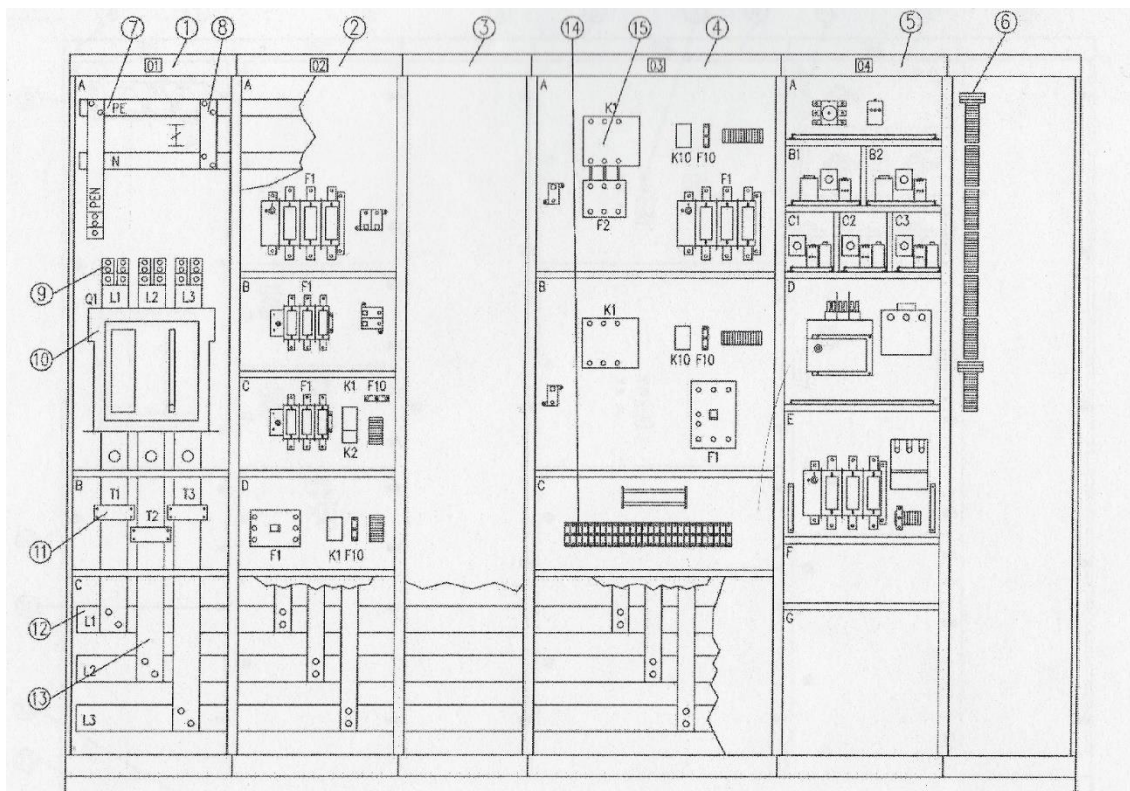
Säädösten mukainen kennokeskus on selväpiirteinen sekä tarpeeksi kestävä asennuspaikansa termisiin, mekaanisiin ja muihin rasituksiin nähden. Keskukseen koteloinnin tulee suojella keskuksen sisään oikealla ja sopivalla tavalla asennettuja komponentteja edellä mainituilta rasituksilta. Haluttuun sähkökeskuskäyttöön valittujen komponenttien tulee täyttää myös omat standardinsa ja niiden sähköisten ominaisuuksien sekä mekaanisen, termisen ja sähköisen kestävyys tulla tähän sähkökeskuskäyttöön sopivia. Keskukseen sisäinen lämpötila ei saa käyttöpaikassaan nousta tai sen komponentit ja liitokset eivät saa lämmetä niin, että eristämiseen käytettävien aineiden ominaisuudet heikkenisivät tai keskuksen haluttu toiminta häiriintyisi. [1]

Standardeja noudattava perussuojaus hoidetaan siis oikean kotelointiluokan valinnalla, mutta huomioon tulee myös ottaa käyttö- ja huoltotoimenpiteet, joita keskuksen käyttöiän aikana tehdään. Tilat, jotka eivät vaadi toimenpiteitä, esimerkiksi kiskokotelot, eivät tarvitse standardin mukaan erillistä suojausta. Tällaisten tilojen tulee kuitenkin olla erotettuna avaimella tai työkalulla avattavan kotelon sisällä. Nämä tilat tulisi myös aina selvittää tarkasti, sillä turhaan asennettavat ja irrotettavat suojukset lisäävät lämpenemistä kotelossa. Koteloissa suoritettavien toimenpiteiden suorittajan sähköalan ammattitaito määrittää myös osaltaan tilojen kosketussuojauksen, sillä esimerkiksi ammattihenkilön suorittama lämpökuvaus ei ole varsinainen käyttötoimenpide, jonka vuoksi kotelointia tulisi huomioida. Ammattihenkilön suorittamia toimenpiteitä varten riittää kotelointi käyttöpaikan vaatimusten mukaan. [1]

Kuvassa 2 on esitettyä kennokojeiston perusrakenne keskuksen ovien ollessa auki. NorPower 5000 -kennokojeisto koostuu kolmesta erillisestä tilasta, jotka on erotettu toisistaan metallisilla väliseinillä ja putoamissuojilla. Näitä tiloja ovat kojeille varatut tilat, kaapelikuilut sekä kiskokotelotilat. Metallikoteloinnilla pyritään vähentämään vikatilanteiden aiheuttamia vaurioita vikaantuneessa osassa ja sen ympärillä ja mahdollistamaan nopeat korjaustoimenpiteet. Kohta 1 kuvaa keskuksen syöttökenttää, johon syöttökaapeli liitetään. Kohta 2 on esimerkki lähtökentästä, johon asiakkaan sähkökäyttöjen mukaan on valittu kytkinvarokelähtöjä kolmeen ylimpään tilaan sekä kompaktikatkaisijalähtöjä tilaan D. Kohdassa 3 on tyhjä puolikas kenttä, jota käytetään kaapelointikenttänä erilaisille lähtö- ja syöttökaapeleille. Kohdan 4 kenttä on toinen lähtökenttä, jossa asiakkaan moottorilähdöt on kuvattu edelleen kytkinvaroke- ja kompaktikatkaisijalähtöinä. Kohdassa 5 on kuvattuna lähtökenttä, jonka tilat on toteutettu ulosvedettävänä tai kokonaan ulosotettavina. Kohdassa 6 on kohdan 3 kaltainen kaapelointikenttä, johon on myös asennettu riviliittimet ulosvedettävälle ja -otettaville lähdöille. Tarvittaessa kohdan 6 kenttään voidaan lisätä pystysuuntainen suojamaadoituskisko eli PE-kisko.

Kuvan 2 Kohdassa 7 on esitetty keskuksen PE- ja N-kiskostot, jotka kulkevat keskuksessa koko kojeiston leveydeltä. Kohta 8 taas kuvaa N/PE-yhdistystä kojeiston sisällä. Kohdassa 10 on järjestelmän pääkytkin, esimerkiksi ulosvedettävä ilmakatkaisija, ja kohdassa

9 pääkytkimen liittimet, joihin syöttökaapeli yhdistetään. Kohtaan 11 on piirretty syötön virtamuuntajat ja kohtaan 12 kojeiston alumiininen tai kuparinen pääkiskosto. Pääkiskosto on aina erillisessä teräskoteloidussa tilassa keskuksen ylä- tai alaosassa. Kohta 13 kuvaa pääkiskostoon liitettyä pystykiskostoa, josta komponenteille liitytään joko joustavalla kiskolla tai kaapelilla. Kohdassa 14 on johdonsuoja-automaatteja omassa keskustilassaan ja kohdassa 15 on esitetty kontaktori ja lämpörele ohjauksia varten.



**Kuva 2.** Kennokojeiston perusrakenne.

Rungon taustalevyt voidaan tarpeen tullen toteuttaa ritilämallisina taustalevyinä vähentämään lämpenemistä. Mahdollisia valokaaritulanteita varten kojeistojen yläpintoihin asennetaan paineenpurkausluukut, joiden avulla paine purkautuu ylöspäin. Ylä- ja alapintoihin asennetaan myös tarvittaessa syöttö- ja lähtökaapeleiden läpivientejä varten läpivientilaippoja sekä -tiivisteitä.

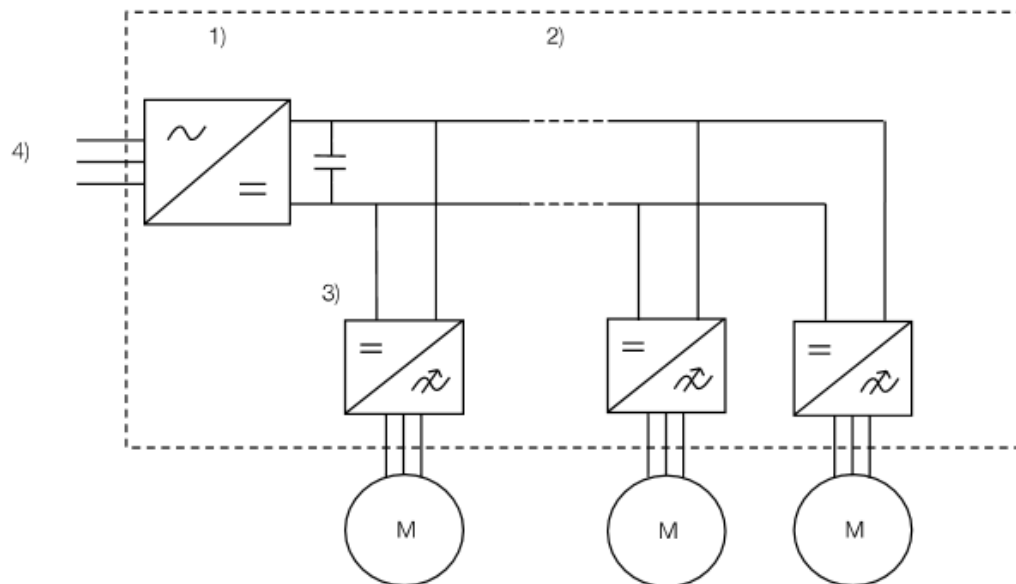
### 3.3 Kennokeskusten sähkökäytöt

Norelcon asiakkaat käyttävät kennokeskuksia sekä kiinteistö- että teollisuuskohteissa jakamaan sähköenergian monenlaisille sähkökäyttöille. Sähkökäyttöjä myös ohjataan usein samasta syöttävästä keskuksista. Yleisiä sähkökäyttöjä teollisuudessa ovat erilaiset prosessit ja niiden vaatimat moottorit. Kiinteistöpuolella esimerkkejä sähkökäyttöistä ovat valaistukset ja ilmanvaihdon pyörivät koneet.



Asiakas toimittaa Norelcolle tilaamansa keskuksen sähköpääkaavion, josta selviää, min-kälaisia sähkökäyttöjä keskukseen tullaan liittämään ja niiden mahdolliset ohjaukset. Keskukseen valmistusta varten tulee asiakkaan toimittaa myös ohjattujen lähtöjen ohjauspiirikaaviot asennuksia varten. Asiakas mitoittaa itse haluamansa sähkökäytön. Mitoituksessa tulee tietää liitännän järjestelmä, sähkönsyöttö, ympäristön olosuhteet, moottorit ja käytettävät laitteet [2]. Sähkökäytön mitoituksella pyritään aina varmistamaan kustannus- tehokas ratkaisu. Kennokeskuksiin liitettävän vaihtovirralla käyvän sähkökäytön osina ovat yleisesti sähkönsyöttö tai syöttömuuntaja, vaihtovirtamoottori, kuorma sekä taajuusmuuttaja [2].

Kuvassa 3 on tyypillinen sähkökäyttö. Kohdassa 1 on erillinen syöttöyksikkö, joka on kuvattu tasasuuntaajana. Kohdassa 3 on esitetty voimavirtamoottorien vaihtosuuntaajat. Kohdassa 2 on syöttöyksikön ja vaihtosuuntaajien välinen yhteinen tasajännitevälipiiri. Kohdassa 4 on järjestelmää syöttävä sähkönsyöttö.



**Kuva 3.** Sähkökäyttö: 1) erillinen syöttöyksikkö, 2) yhteinen tasajännitevälipiiri, 3) vaihtosuuntaajayksiköt, 4) sähkönsyöttö [2].

Sähkökäytön vaatiman moottorin mitoituksessa tarkistetaan ensin käyttöolosuhteet. Taajuusmuuttajan ja moottorin valintaan vaikuttavat erityisesti verkkojännite ja verkkojännitteen taajuus. Seuraavaksi tulee tarkastella itse prosessin vaatimuksia. Prosessista tulee tietää käytettävä kierrosalue, sähkökäytön kuormituksen tyyppi ja suuruus sekä käynnistysmomentin tarve. Moottoria valittaessa pidetään sitä momenttilähteenä eikä sen termistä ylikuormitettavuutta saa ylittää. [2]

Moottorin on kuitenkin kestävä prosessin ylikuormitus ja pystyttävä tuottamaan prosessin vaatima momentti. Mitoitusvaiheen maksimimomenttia varten on myös varmistettava, että moottori mitoitetaan 30 % suuremmalle momentille kuin prosessiin tarvittava momentti. [2]

$$T = \frac{P}{2\pi n} \quad (1)$$

Moottori tuottaa kaavan (1) mukaisesti vääntömomentin  $T$  teholla  $P$  ja pyörimisnopeudella  $n$ . Näin ollen vaikuttamalla pyörimisnopeuteen voidaan vaikuttaa itse koneen momenttiin ja moottorin suuri pyörimisnopeus, muodostuu edulliseksi. Moottori on voimälähteenä aina jollekin tietylle koneelle tai prosessille, joka aiheuttaa moottorille vastamomentin eli kuormitusmomentin. [3]

Moottorin ollessa momenttilähde, sen tärkein mitoituskriteeri on sen kohtaama vastamomentti, jos moottorilta vaadittava kiihdytysaika on lyhyt tai työkoneen hitausmomentti on suuri. Esimerkki koneesta, jonka moottorin määrää vastamomentti, on paperikoneen kuivatusryhmä. Nostureille ja kuljettimille taas on tyypillistä, että vastamomentti on moottorin nimellismomentin suuruinen. Moottoria syöttävät laitteet puolestaan mitoitetaan yleensä kyseisen moottorin nimellisvirran mukaan. Nykyään säädettyjen moottorikäyttöjen säätölaitteet perustuvat tehoelektroniikkaan, mikä monimutkaistaa mitoitusta. Tehoelektroniikkalaitteiden termiset aikavakiot ovat moottoreiden vastaavia lyhyempiä ja moottorin jaksollisen kuormituksen kuormitusvirta voi tehdä niille vahinkoa, joten näiden laitteiden tulee olla nimellisvirraltaan moottoria suurempia. [3]

Oikosulkumoottori on teollisuudessa nykyään yleisin käytettävä sähkömoottoriratkaisu, sillä sen yksinkertaisuus tarkoittaa yleensä käyttäjälle hyvää suhdetta hankintahinnan ja luotettavuuden välillä. Sillä on myös pienet huolto- ja käyttökustannukset sekä korkea hyötysuhde. Oikosulkumoottori on epätahtikone ja sen pyörimisnopeus riippuu edellisen kappaleen mukaisesti kuormituksen vääntömomentista. Moottorin toiminta muutettaessa sähköenergiaa mekaaniseksi energiaksi perustuu sähkömagneettiseen induktioon, mikä tarkoittaa, että koneella on myös jättämä. [2, 3]

Oikosulkumoottorin toimintaa voidaan arvioida kaavan (2) avulla, joka mallintaa oikosulkumoottorin pyörimisnopeutta  $n$ . Kaavassa (2)  $f$  on syöttävän verkon taajuus,  $p$  oikosulkumoottorin napaluku,  $\Delta n$  moottorin absoluuttinen jättämä ja  $n_s$  tahtinopeus. Moottoria syöttävän jännitteen ja taajuuden sekä lämpötilan pysyessä vakioina, on moottorin synnyttämän vääntömomentin muutos riippuvainen ainoastaan moottorin jättämän muutoksesta  $\Delta n$ . [2, 3]

Jättämän ollessa positiivinen, toimii oikosulkukone moottorina ja jättämän ollessa negatiivinen, generaattorina. Koneen pyörimissuunta voidaan myös vaihtaa vaihtamalla syöttävän vaihtojännitteen vaihejärjestystä. [3]

$$n = \frac{f}{p} - \Delta n = n_s - \Delta n \quad (2)$$

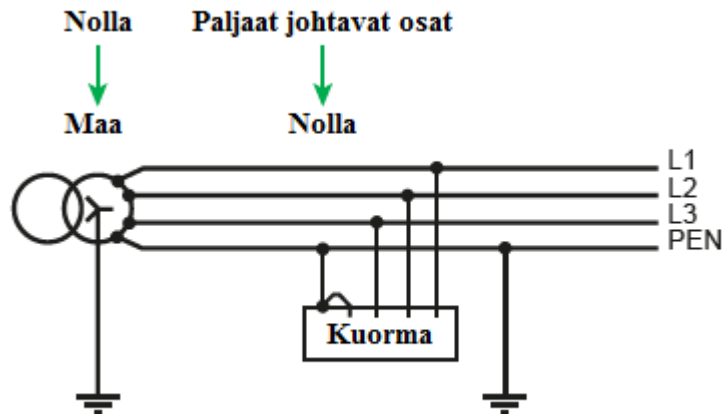
Yllä olevilla sähköverkon jännitteen ja taajuuden sekä lämpötilan oletuksilla myös oikosulkukoneen ottama vaihevirta riippuu pelkästään jättämästä. Moottorin pyöriessä tahtinopeudellaan, ottaa se verkosta pelkästään magnetointivirran. Virran otto kasvaa voimakkaasti, jos jättämä kasvaa. Tyypillisen oikosulkumoottorin huippumomentti on 2-3 kertaa jatkuvasti sallittavan eli nimellisvääntömomentin suuruinen. Moottorin sähköisistä arvoista riippuva jättämä synnyttää joko positiivisen tai negatiivisen huippumomentin. Jotta oikosulkumoottoria käytettäisiin tehokkaasti, tulee jättämän olla mahdollisimman lähellä nollaa. Nimellisjättämä pyritäänkin pitämään 1-4 %:ssa nimellisnopeudesta. Oikosulkumoottorin toiminnan ollessa ensisijaisesti riippuvainen jättämästä, voidaan pyörimisnopeuden ohjaus ja säätö parhaiten toteuttaa muuttamalla taajuutta portaattomasti. Taajuuden säätö puolestaan toteutetaan taajuusmuuttajan avulla. [3]

### 3.4 Kennokeskusten maadoitukset

Kennokeskuksessa sattuvan vian varalta on suojaavan maadoitusyhteyden oltava jatkuva. Keskus tulee tämän lisäksi suojata siten, että keskuksen sisäisen vian sattuessa koko keskuksen syöttö tai viallisen osan syöttö kytkeytyy pois automaattisesti. Keskuksen kaikki jännitteelle alttiit osat tulee kytkeä yhteen ja, jos keskuksesta poistetaan osa, tulee maadoituksen jatkuvuuden säilyä jäljelle jääneessä osassa. Suomessa vaaditaan lisäksi sähköliittymille rakennettavaksi maadoituselektrodi, joka liitetään maadoitusjohtimella päämaadoituskiskoon ja edelleen suojamaadoitusjohtimella pääkeskuksen suojakiskoon tai suojaliittimeen. Maadoituselektrodiyhteydellä toteutetaan sähköjärjestelmän potentiaalintasaus keskusten välillä. [1]

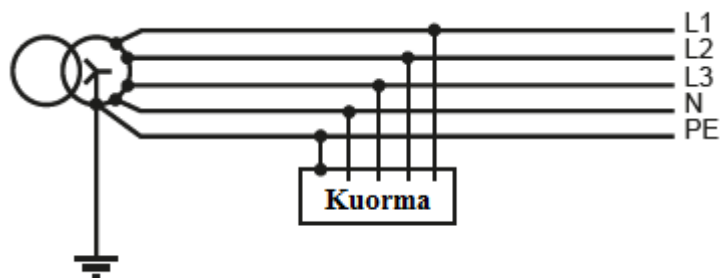
Rakennusten sähköasennuksia varten on määritelty kolme maadoitusjärjestelmää. Suomessa käytössä on TN-järjestelmä, jossa kirjain T tarkoittaa suoraa kytkentää laitteen ja maan välillä ja N suoraa kytkentää laitteen ja nollan, joka on syöttölähteessä maadoitettu, välillä. TN-järjestelmät puolestaan voidaan jakaa kolmeen erilaiseen järjestelmään, TN-C, TN-S ja TN-C-S. Asennuksissa TN-järjestelmältä vaaditaan vian havaitsemisen laskennallista mallintamista suunnitteluvaiheessa ja vikojen mittaamista, havaitsemisen varmistamiseksi, käyttöönnotossa. TN-järjestelmä voi vikatilanteissa aiheuttaa pyörivien koneiden käämityksille vahinkoa ja TN-järjestelmän vikavirrat ovat arvoltaan muiden järjestelmien vikavirtoja korkeampia. [4]

Kuvassa 4 on kytkentäkuva TN-C -järjestelmästä. Järjestelmän nolla on yhteydessä maahan ja järjestelmän osien, esimerkiksi sähkökeskusten, paljaat johtavat osat ovat yhteydessä järjestelmän nollaan. TN-C -järjestelmässä tulee, halkaisijan ollessa vähintään 10 mm<sup>2</sup>, käyttää jäykkiä johtimia ja joissain asennuksissa tämä järjestelmä voi olla kielletty tulipaloriskin takia. Myöskään asennuksissa, joissa on tietokonelaitteistoa, ei käytetä TN-C -järjestelmää harmonisten yliaaltojen takia. [4]



**Kuva 4.** TN-C -järjestelmä [4].

TN-S -järjestelmää käytetään piireille, joissa johtimen halkaisijat ovat alle 10 mm<sup>2</sup>. Järjestelmä on viisijohdinjärjestelmä, sillä halkaisijaltaan alle 10 mm<sup>2</sup>:n johdinjärjestelmissä vaaditaan vaihejohtimien lisäksi erilliset PE- ja N-johtimet. Kuvassa 5 on kytkentäkuva TN-S -järjestelmästä. [4]

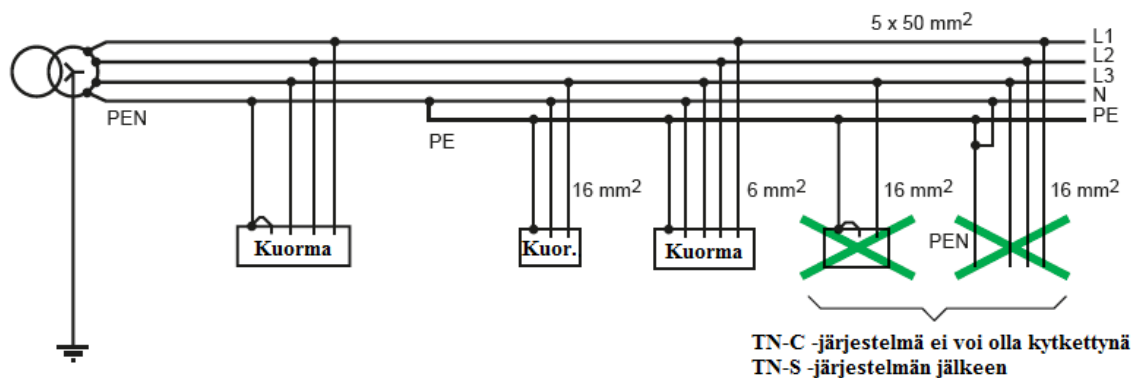


**Kuva 5.** TN-S -järjestelmä [4].

TN-C -järjestelmässä sähkövoimajärjestelmän nolla toimii samalla suojamaadoituksena ja tätä johdinta nimitetään PEN-johtimeksi. TN-C -järjestelmä on siis nelijohdinjärjestelmä, sillä vaihejohtimien lisäksi syöttöön kuuluu PE:n ja N:n yhdistetty PEN-johdin. Kyseisessä järjestelmässä syöttö- ja maadoitusjohtimien tulee olla halkaisijaltaan vähintään 10 mm<sup>2</sup>. TN-C -järjestelmä tarvitsee ympärilleen toimivan saman potentiaalin omaavan asennusympäristön, jossa maaelektrodeja on asennettu mahdollisimman säännöllisesti, sillä PEN-johtimessa kulkee järjestelmän nollan lisäksi vaiheiden epätasapainoiset

virrat sekä kolmannet harmoniset yliaallot ja niiden monikerrat. Maaelektrodeja tulee asennuksissa tästä syystä myös olla monia. Tässä järjestelmässä PEN-johtimen suojamaadoitusominaisuudet ovat prioriteetiltaan tärkeämpiä kuin järjestelmän nollana toimiminen. Tämä tarkoittaa, että PEN-johdin tulee aina liittää kuorman maadoituspisteeseen ja edelleen johtimella nolapisteseen. [4]

Kuvassa 6 on kytkentäkuva TN-C-S -järjestelmästä. Kuvassa syöttävän verkon puolella on ensin sallitusti TN-C -järjestelmän kuorma ja sen jälkeen kaksi TN-S -järjestelmän kuormaa. Esimerkkinä kuvassa on myös TN-S -järjestelmän kuormien jälkeen yksi TN-C -järjestelmän kuorma sekä TN-C -järjestelmän lähtö, jotka eivät ole suojamaadoitusyhteiden säilymisen vuoksi sallittuja. [4]



**Kuva 6.** TN-C-S -järjestelmä [4].

TN-C – ja TN-S -järjestelmiä voidaan käyttää myös samoissa asennuksissa, mutta tällaisessa TN-C-S -järjestelmässä tulee TN-C järjestelmän olla kytketty generaattorilta katsottuna ennen TN-S -järjestelmää. TN-C -järjestelmän tulee siis olla syöttävän verkon puolella. Jos mahdollisessa katkoksessa TN-S -järjestelmä olisi ennen TN-C -järjestelmää, katkeaisi TN-C -järjestelmältä vikatilanteessa samalla yhteys suojamaadoitukseen. [4]

Syöttö NorPower 5000 -kennokeskuksissa toteutetaan joko ylä- tai alakautta ja mahdollisuuksina on joko kiskosto tai kaapeli. Viisikiskojärjestelmää ja TN-C -järjestelmän PEN-syöttöä käytettäessä tulee N/PE-yhdistys tehdä jo valmistusvaiheessa helpompaa käyttöönottoa varten. Työmaadoituslaitetta varten nimellisvirraltaan yli 1250 A:n keskuksiin lisätään maadoituspallot työmaadoituslaitetta varten, jos keskuksessa ei ole erillistä maadoituskytkintä. Maadoituksissa käytetään tietyissä kohteissa myös valokaarivalvontarelettä mahdollisten valokaarien vaikutusten vähentämiseksi.

Suojamaadoitus toteutetaan yleisesti PE-kiskona, joka sijoitetaan kappaleessa 3.2 kuvattuun kaapelikuiluun. Suojamaadoituskisko varustetaan pikaliittimillä, jotta se on erotettavissa muusta suojamaadoituspiiristä mittaauksia varten. Syöttökiskosto kulkee edelleen liitteen A mukaisesti keskuksen alareunassa ja sen lisäksi kojelähtökenttien taakse varustetaan yleisesti pystykiskot. Kiskostot valmistetaan joko alumiinista tai kuparista ja ne

asennetaan keskuksen nimellisvirran vaatimusten mukaan joko 1-, 2- tai 3-kertaisina ja niille varataan omat kosketussuojatut metallikoteloidut kiskotilat. PE-kiskon sijaan voidaan kennokeskuksen jokaiselle lähdölle asentaa omat suojamaadoitus- ja nollaliittimet. Kappaleessa 3.2 esitelty metallirakenteiset kotelointi- ja kytkentätilat ovat aina galvaanisessa yhteydessä järjestelmän suojamaadoitukseen.

### 3.5 Kennokeskusten lämpöhäviöt ja jäähdytys

Sähkökeskuksille on asetettu tietyt termiset raja-arvot, jotka niiden tulee käyttöympäristössään täyttää. Keskuksen lämpenemä vaikuttaa käyttöympäristön lämpötilaan ja voi vaikuttaa muiden samassa tilassa olevien keskusten ja laitteiden termiseen kestävyyskykyyn. Keskuksen sisäiset kojeet, johtimet ja kiskostot ovat syynä lämpenemiselle ja niiden mitoitus perustuukin suurimmalta osin juuri mahdollisimman pieneen lämpenemiseen. Kojien, johtimien ja kiskostojen tehohäviöt ovat pääasiassa lämpöhäviötä, joten lämpenemää voidaan arvioida tehohäviöiden avulla. Keskuksiin asennettavilla kojeilla on myös oma kotelointinsa ja omat termiset vaatimuksensa. Kotelointi estää lämmön haihtumista ja termisten vaatimusten ylittäminen vaikuttaa kojeen normaaliin toimintaan. Vaikka nykyään hyvinkin pienikokoiset kojeet saataisiin kustannustehokkuuden ajamana todella pieneen koteloon keskuksessa, voi kojeiden lämpenemä vaatia kuitenkin isomman kotelon tai kojeiden erilaisen ryhmittelyn ja sijoittelun keskuksessa. [1]

Pienjännitekeskusstandardissa SFS-EN 60439-1 on saneltu lämpenemisrajat sähkökeskukselle. Lämpenemisrajat on määriteltävä lämpötilan nousuna sähkökeskuksen käyttöympäristöön nähden ja ilmoitettu sallittuna lämpötilana. Keskuksen käyttöympäristön lämpötila ei saa standardin mukaan ylittää arvoa  $+40\text{ °C}$ . Ympäristön lämpötilan 24 tunnin keskiarvo ei myöskään saa ylittää arvoa  $+35\text{ °C}$ . [1]

Standardissa määritellään myös rajat koteloiden ja kansien lämpötiloille kosketettaessa. Eristemateriaalista koostuville pinnoille raja on  $+40\text{ °C}$  ja johtaville metallipinnoille  $+30\text{ °C}$ . Jos kotelot ovat kosketukselta suojassa, tai niitä ei missään tilanteessa tarvitse koskettaa, sallitaan näihin arvoihin nähden  $10\text{ °C}$  lisää lämpenemää. Kiskostojen ja johtimien materiaalien, esimerkiksi kuparin, sähköiset ominaisuudet heikentyvät lämpötilan noustessa. Näin ollen paljaille kiskoille ja johtimille on standardissa lämpenemisrajaksi asetettu  $+105\text{ °C}$  ja ulkoisille eristeellä päällystetyille johtimille  $+70\text{ °C}$ . Kansiin asennetuille metallisille, kojeiden ohjauksiin tarkoitetuille, kahvoille ja kytkimille on asetettu rajaksi  $+15\text{ °C}$  ja eristemateriaalisille, esimerkiksi muovisille,  $+25\text{ °C}$ . Jos kahva tai kytkin on kannen alla suoraan kosketukselta suojassa, sallitaan sille suurempi lämpenemä. [1]

Keskuksessa ja sen ympäristössä lämmönsiirto voi tapahtua johtamalla, säteilemällä tai konvektiolla. Kennokeskuksissa kennojen liitoskohdat ovat aukollisia, jolloin ilma pääsee kojeiston sisällä kiertämään. Kun kojeiston IP-luokka on korkeampi kuin IP34, tapahtuu keskuksen luonnollinen jäähtyminen ulkokuoren kautta. Jos taas näin tiivistä keskusta

ei vaadita, voidaan kojeistolle järjestää luonnollinen ilmankierto ilmastointiaukoilla. Mo-lemmissa tapauksissa tarvittava jäähdytys voidaan myös toteuttaa koneellisesti, mutta IP-luokaltaan IP34 tiiviimmän keskuksen kohdalla täytyy myös tiiveysvaatimuksista suoriutua. [1]

Keskusvalmistajan on pienjännitekeskusstandardin mukaan jollain lailla todennettava, ettei valmistettu keskus ylitä asennettujen komponenttien ylintä käyttölämpötilaa. Raja-arvona lämpenemälle toimii alhaisimman käyttölämpötilarajan komponentti. Komponenttien osalta saadaan luotettavat arviot lämpenemälle niiden käyttöohjeista, sillä esimerkiksi taajuusmuuttajien häviöteho ja vaaditut tilavaraukset jäähdytystä varten on näissä ilmoitettu. Lämpenemä kiskostoille ja komponenteille voidaankin osoittaa laske-malla. Muut vaihtoehdot todentamiselle ovat testivirralla testaus sekä standardin mukaan testatun rakenteen lämpenemäarvoista mitoitusarvojen johtaminen vastaavalle raken-teelle. [1]

Testivirralla testattaessa tulee keskus asentaa normaalikäytön mukaiseksi ja sulakkeiden tulee olla suojauskyvyltään asiakkaan määrittämiä sekä paikallaan keskuksessa. Virran kuormittaessa keskusta, tulee lämpötilamittaus suorittaa ulkopuolisesti vähintään kah-della mittarilla. Mittarit tulee sijoitella siten, että ne ovat vastakkaisilla puolilla keskusta, korkeussuunnassa keskuksen puolivälissä ja 1 metrin kohtisuoralla etäisyydellä keskuk-sesta. Mittarit eivät saa olla alttiina jäähtymiselle ilmavirran takia tai muulle lämpösätei-lylle, sillä nämä vääristävät saatuja lukemia. Näillä asetteluilla tulee ulkopuolisen lämpö-tilan mittausarvon pysyä välillä  $+10...+40$  °C. Sisäisen lämpenemän mittauksessa tulee kiinnittää huomiota pääpiirin liitoksiin, mutta tarkkoja mittareiden asetteluita ei standar-dissa anneta. Mittareilla tulee kuitenkin tarkistaa sellaiset pisteet, joissa voidaan raja-ar-vot ylittävää lämpenemistä odottaa koje- ja varokevalintojen myötä sekä mitata jokaisen erillisen osion lämpenemä. Testivirralla kuormittamista ja lämpenemän tarkkailua edellä mainitusti tulee jatkaa, kunnes keskuksen sisäinen ja ulkopuolinen lämpenemä saavutta-vat vakioarvon. Vakioarvo ja samalla lämpenemän maksimiarvo saavutetaan, kun lämpe-neminen hidastuu arvoon, joka on alle 1 K/h. Keskuksen kojeiden tulee toimia niille mää-ritellyillä jännitearvoilla myös maksimilämpötilan olosuhteissa. Testivirralla testaaminen on lähes mahdoton toteuttaa valmistusympäristössä, sillä esimerkiksi 1250 A nimellisvir-ran ja keskuksen tällä kuormittamisen mahdollistaminen tehtaassa on erittäin hankalaa. Laskenta jääkin ainoaksi realistiseksi tavaksi mallintaa lämpenemää riittävällä tarkkuu-della ja johtaa näitä tuloksia valmistettaville keskuksille. [1]

Sähkökeskuksen lämpenemää laskettaessa tulee määrittää kaikissa piireissä tehohäviö ja tästä johtuva lämpenemä. Tehohäviöihin perustuvassa laskennassa ei kuitenkaan pystytä johtimien ja komponenttien todellista lämpötilan nousua laskemaan, vaan laskennan päät-teeksi on lisättävä turvamarginaali komponenttien käyttöohjeista löytyviin raja-arvoihin nojautuen. Keskuksen mitoitusajuuden ollessa  $f \leq 60$  Hz, voidaan lämpenemä keskukselle laskea riittävän tarkasti, kun komponenteista on saatavilla niiden tehohäviöt ja teho-

häviöiden voidaan olettaa jakautuvan tasaisesti keskuksessa. Laskentaa varten täytyy keskuksen sisältämät laitteet ja osat olla ryhmitelty siten, että ilma pääsee mahdollisimman vapaasti kiertämään. Standardin mukaan johtimet, joissa kulkee yli 200 A virta tulee sijoitella niin, että hystereesin ja pyörrevirtojen aiheuttamat häviöt ovat mahdollisimman pienet. Johtimien poikkipinta-alojen tulee lisäksi olla määritetty piirin mitoitusvirran mukaan. Standardi vaatii myös, että varsinkin lähtevien piirien lämpösuojalaitteiden kestot vastaavat laskettua lämpenemää. Lopuksi keskuksen kuormitusvirran tulee olla nimellisvirran suuruinen, jotta laskennan tulos on luotettava. [1]

Keskusten lämpenemä ja jäähtyminen ovat erittäin hankalasti mallinnettavia tapahtumia ja riittävän jäähtymisen arvioimiseksi on arvioitava myös lämpeneminen mahdollisimman tarkkaan. Kiskostojen lämpöhäviöteho saadaan riittävän tarkasti arvioitua, kun häviöiden ajatellaan muodostuvan pelkästään kiskoston kolmivaiheisesta tehohäviöstä. Tehohäviöiden laskentaa varten pitää kiskoston resistanssi  $R$  laskea kaavalla:

$$R = \rho \frac{l}{A}, \quad (3)$$

jossa  $\rho$  on kiskomateriaalin resistiivisyys,  $l$  kiskoston pituus ja  $A$  kiskoston resistiivisen materiaalin yhteenlaskettu poikkipinta-ala. Aineen resistiivisyys riippuu lämpötilasta, joten myös kiskoston resistanssi muuttuu kiskoston lämmitessä. Häviöiden tarkkaa arviointia varten tulisi laskea resistanssille arvoja eri lämpötiloissa. Kolmivaiheinen tehohäviö  $P_h$  kiskostolle saadaan resistanssin  $R$  avulla kaavasta:

$$P_h = 3RI^2, \quad (4)$$

jossa  $I$  on kuormitusvirta. Tehohäviötä laskettaessa, käytetään syöttävien kenttien läpi kulkevalle kiskostolle kuormitusvirtana keskuksen ilmoitettua nimellisvirtaa. Materiaalin tai paksuuden valinnan myötä alimitoitettun kiskoston tehohäviöt kasvavat nopeasti, sillä kaavan mukaan häviöt ovat suoraan suhteessa kiskoston resistanssiin.



## 4. SÄHKÖMAGNEETTINEN YHTEENSOPIVUUS

Laitteen sähkömagneettinen yhteensopivuus, EMC, tarkoittaa, että laite tai kojeisto toimii sille tarkoitettussa ympäristössä tyydyttävästi, eikä aiheuta kohtuutonta sähkömagneettista häiriötä laitteen kanssa samassa sähkömagneettisessa ympäristössä oleville muille laitteille. Laitevalmistajan on ilmoitettava laitteensa häiriösieto ja keskusvalmistajan on ilmoitettava EMC-ympäristö, jossa keskusta tullaan suunnitellusti käyttämään, vaikka erilisiä EMC-testauksia ei tarvitsisikaan tehdä. EMC-ympäristöt jaetaan standardeissa ympäristöön A ja B, joilla on molemmilla omat vaatimukset häiriösiedolle ja -päästölle. [1, 5, 6]

EMC-häiriöt voivat siirtyä vastaanottajalaitteelle lähteestä joko kytkeytymällä tai säteilemällä. Häiriöiden kytkeytyminen ja säteileminen taas riippuvat voimakkaasti sekä lähteestä että vastaanottajasta. Näiden lisäksi tie, jota pitkin häiriöt siirtyvät laitteesta toiseen, vaikuttaa häiriöihin. Vaikuttamalla yhteen tai useampaan näistä tekijöistä voidaan yhteensopivuusongelmia välttää ja poistaa. [6]

### 4.1 EMC-häiriöiden kytkeytyminen

Sähkömagneettiseen yhteensopivuuteen vaikuttavat häiriöt voivat kytkeytyä elektroniikka sisältävään laitteeseen joko suoraan, kapasitiivisesti tai induktiivisesti. Näiden lisäksi häiriöt voivat siirtyä vastaanottavaan laitteeseen sähkömagneettisena säteilynä. Laitteiden häiriöiden päästö ja vastaanotto sanelevat tarkkaan, millaisia laitteita voidaan samaan keskushuoneeseen, keskukseen ja keskustilaan asentaa. Häiriöiden laatuun ja voimakkuuteen taas vaikuttavat laitteiden ominaisuudet sekä kytkentätavat, joihin laitevalmistajien asennusohjeista saadaan viitearvoja ja suuntaviivoja keskusasennuksia varten. [6]

EMC-häiriöiden suorassa kytkeytymisessä häiriön kulkureittinä on lähde- ja vastaanottajalaitteen yhteinen syöttöjohdin. Häiriö voi kulkeutua myös maadoitusjohtimesta vastaanottajalle ja yleensä häiriö siirtyykin molempia mainittuja teitä pitkin. Molempia johtimia pitkin siirtyvässä häiriössä usein toinen on vallitsevampi ja häiriösuojaus toteutetaan ensisijaisesti sitä varten. Häiriön siirtyminen lähteestä vastaanottajalle alkaa lähdelaitteessa syntyvästä häiriöjännitteestä. Häiriöjännitteen siirtymistä edistää varsinkin lähde- ja vastaanottajalaitteen yhteinen impedanssi. Lähdelaitteen häiriöjännite ja sen aiheuttama häiriövirta kytkeytyvät synnyttyään laitteen maadoitusjohtimeen, edelleen maadoituskiskoon sekä kiskon maadoitusjohtimeen ja sitä kautta koko järjestelmän maadoitukseen muiden laitteiden tai järjestelmän kapasitanssin kautta. Asennuksen maadoituskiskon ja järjestelmän maadoituksen välille aiheutuu lähdelaitteen häiriöjännitteen ja kiskon maadoitusjohdon impedanssin takia jännite. Tämä jännite taas kytkeytyy maadoituskiskon

välityksellä vastaanottajalaitteiden maadoitusjohtimiin. Ohjaus- ja signaalikaapelit ovat maadoitus- ja syöttöjohtimen lisäksi muita EMC-häiriön suoran siirtymisen reittejä. [6]

Häiriölähteiden synnyttämien häiriöjännitteiden ja vastaanottajille aiheutuvien häiriöiden suuruus riippuu lähteen, vastaanottajan ja syöttöjohtimen impedanssien yhtenevyydestä. Laitteiden ja yhdistävän tien impedanssit taas riippuvat taajuudesta eli taajuuden avulla voidaan häiriöihin vaikuttaa. Impedanssit pyritään siis pitämään mahdollisimman yhtene-sopivina, mutta myös pieninä, sillä näin voidaan vähentää yhteisen impedanssin aiheut-taman häiriön kytkeytymisen vaikutuksia. Verkkoon voidaan tätä varten lisätä suotimia ja järjestelmä voidaan suunnitella niin, ettei häiriövirta lähteestä pääse kulkemaan häiriö-herkkien vastaanottajien johtimissa. Häiriöjännitteet ja -virrat eivät kaikissa tapauksissa ole vastaanottajalaitteille haitallisia, sillä niiden suuruus ei aina riitä aiheuttamaan häi-riötä. Tällaisissa tapauksissa syntyvät häiriöjännitteet voivat jäädä kokonaan havaitse-matta. [6]

Kapasitiivinen häiriön kytkeytyminen aiheutuu häiriöllisen johtimen ja toisen johtimen välisestä kapasitanssista. Tämä kapasitanssi muodostaa johtimien välille sähkökentän, johtimien välisen mahdollisen jännite-eron takia. Kapasitanssin muodostama sähkökenttä puolestaan indusoi ennen kytkeytymistä häiriövapaana olleeseen johtimeen häiriövirran. Kapasitiivinen kytkeytyminen vaatii yleensä häiriölähteen ja vastaanottajan välisen yh-teisen maadoituspisteen, mutta kapasitiivista kytkeytymistä voi tapahtua myös maadoi-tuksen osalta toisistaan erotettujen piirien välillä, sillä myös maa voi toimia johtimien välisenä kapasitiivisena yhteytenä. Kapasitiivisen kytkeytymisen aiheuttaman häiriövir-ran suuruus riippuu vastaanottajapiirin impedanssista siten, että suurempi impedanssi tar-koittaa piirin olevan herkempi häiriöille. Piirien välinen geometria ja etäisyys, suojaus sähkökenttiä vastaan sekä eristys ovat piirien välisen kapasitanssin suuruuden määräävät tekijät. [6]

Induktiivisessa kytkennässä voi johtimien keskinäisinduktanssin vaikutuksesta häiriöläh-teeseen kytketyn johtimen häiriöjännite indusoida virran johtimen läheisyydessä olevaan toiseen johtimeen. Keskinäisinduktanssi määrää indusoituneen virran suuruuden ja riip-puu johtimien geometriasta, suojauksesta magneettikenttiä vastaan ja matkasta, jonka johtimet kulkevat toistensa läheisyydessä. Keskustiloissa voi esiintyä induktiivista häi-riövirtaa, kun johtimet kulkevat keskustilassa niputettuina yhteen. Jotta indusoituvia häi-riövirtoja pystytään vähentämään, tulee erityyppiset kaapelit, esimerkiksi 400 V:n pää-jännitekaapelit ja 24 V:n ohjauskaapelit, niputtaa erilleen ja riittävän etäälle toisistaan. Jos piirillä on sekä syöttö- että paluujohdin, voidaan ne niputtaa yhteen, sillä tällöin pa-luujohdossa kulkeva virta mitätöi syöttöjohtimen aiheuttaman magneettikentän. [6]

Säteilyn aiheuttamat EMC-häiriöt johtuvat sähkömagneettisesta aallosta, joka muodostuu vaihtovirran sähkö- ja magneettikentän komponenteista. Sähkömagneettinen säteilylähde säteilee vapaassa tilassa joka suuntaan ja indusoi antennina toimivaan vastaanottajaan sekä häiriöjännitteen että -virran. Maadoitusten, suotimien ja muiden EMC-suojauksen

avulla säteilyn voimakkuuteen pystytään vaikuttamaan. Säteilyn tunkeutumista herkkien laitteiden tilaan on hankala estää, mutta laitteiden oikealla sijoittelulla voidaan säteilyn aiheuttamia häiriöitä vähentää. [6]

## 4.2 Sähkömagneettinen yhteensopivuus kennokeskuksissa

Sähkökeskusten sisään asennetaan yhä enemmän elektroniikkaa ja tehoelektroniikkaa. EMC-häiriöt puolestaan aiheutuvat elektroniikkalaitteista eli laitteiden häiriösieto ja -päästö tulee keskusasennuksia varten selvittää ja mahdolliset ongelmakohdat EMC-suojauksessa ratkaista, jotta laitteet toimisivat halutulla tavalla. Vaatimuksia keskusten sisäiselle ja ulkoiselle häiriöpäästölle ja -siedolle ei ole standardeissa asetettu, jos sähkökeskukseen asennetut komponentit ja laitteet pystyvät niitä koskevat laitestandardien sanelemat EMC-vaatimukset täyttämään ja asentamisessa sekä johdotuksessa on noudatettu laitevalmistajan asennus- ja johdotusohjeita. Jos näiden vaatimusten noudattamista ei pystytä osoittamaan, on vaatimustason täytyminen varmistettava testauksilla. Tuotestandardien mukaan testaamattomille pää- ja apupiirien komponenteille sekä kytkennöille, joiden perustaajuus on 9 kHz tai suurempi, täytyy suorittaa häiriöpäästömittaus. [1]

Jos keskus sisältää pelkästään passiivisia elektronisia piirejä, kuten kondensaattoreissa, ylijännitesuojissa tai diodeissa, ei päästöttestauksia tarvitse keskukselle tehdä. Päästötestauksia ei myöskään vaadita elektronisia piirejä sisältämättömiltä keskuksilta, sillä ne eivät ole häiriöille alttiita. Pelkkiä tavallisia suoja- ja kytkinlaitteita sisältävässä sähkökeskuksessa muutamien millisekuntien pituisia häiriöitä voi silti esiintyä kytkimiä käytettäessä, mutta standardien mukaan nämä kuuluvat normaaleihin pienjänniteasennuksista aiheutuviin häiriöihin eivätkä vaadi päästöttestauksia. Standardien mukaisen EMC-suojauksen täyttymiseksi onkin ensiarvoisen tärkeää tutustua keskuksiin asennettavien komponenttien asennusohjeisiin, jotta turhilta testaamisilta ja mittauksilta välttyttäisiin. [1]

### 4.2.1 EMC-kotelointi

Elektroniset laitteet tulee sähkökeskuksissa EMC-koteloida, jos niillä ei hankittaessa ole valmista EMC-suojauksia. Radiotaajuushäiriöitä aiheutuu elektroniikan nopeista kytkimisistä, esimerkiksi MOSFET-transistoreista. Tällaisilla komponenteilla ei juurikaan ole valmista häiriöpäästösuojausta, joten ne joudutaan joko koteloidaan omaan EMC-suojattuun tilaansa muiden häiriölähteiden kanssa tai EMC-suojamaan koko sähkökeskus. Halvempi vaihtoehto on yleensä koteloida pelkästään häiriölähteet omaan ja häiriöiden vastaanottajat omaan koteloonsa. EMC-suojattu kotelointi toimii siten, että osa kotelon seinän kohtaamasta säteilystä heijastuu suoraan takaisin tulosuuntaansa ja jäljelle jäävä osa vaimenee EMC-kotelon seinän paksuuden ja materiaalivalinnan myötä ennen kuin säteily lävistää koko seinän. Materiaalin sisällä tapahtuu kuitenkin myös heijastumista takaisin, mikä on myös yksi koteloinnin ominaisuuksista. EMC-kotelon kokonaissuojaus koostuu

siis säteilyn heijastumisesta, vaimentumisesta materiaalin sisällä sekä takaisinheijastumisesta. [6, 7]

Matalien taajuuksien häiriöpäästöt vaativat suojaukseksi metallisen koteloinnin, kun taas korkeataajuiset, yli 30 MHz:n, häiriöpäästöt vaimentuvat riittävästi jo johtavalla pinnoitteella päällystetyssä muovikotelossa. Kotelomateriaalit, joilla johtavuus on suurempi, vaimentavat sähkökenttiä pienen johtavuuden materiaaleja paremmin, sillä kotelomateriaalin aaltoimpedanssi riippuu sen permeabiliteetista ja johtavuudesta sekä materiaalin kohtaavan säteilyn taajuudesta. Säteilyn heijastuminen puolestaan on riippuvainen säteilyn ja kotelon aaltoimpedanssien suhteesta. Suhteelliset johtavuudet esimerkiksi kuparille ja raudalle ovat  $\sigma_{z, Cu} = 1$  ja  $\sigma_{z, Fe} = 0,1$ . Tämä tarkoittaa, että kupari heijastaa häiriötä terästä paremmin suuremman johtavuutensa ansiosta. Heijastumisen avulla saavutettu vaimennus sähkökentän tapauksessa vähenee ja magneettikentän tapauksessa suurenee häiriön taajuuden kasvaessa. [7]

Säteilylähteen ja suojamateriaalin välinen etäisyys  $d$  on taajuuden ohella merkittävä vaimennukseen vaikuttava tekijä. Kun säteilylähteen ja suojaavan materiaalin välinen etäisyys  $d < \lambda/2\pi$ , puhutaan lähikentästä ja vastaavasti tilanteessa, jossa  $d > \lambda/2\pi$ , puhutaan kaukokentästä. Lähikentässä sähkökentän impedanssin arvo on suuri, joten myös sähkökentän heijastumisen vaimennus on voimakas. Magneettikentälle lähikentässä on impedanssi pieni ja heijastumisella saavutetaan vain vähäinen vaimennus. Kaukokentässä magneetti- ja sähkökentän impedanssien välinen ero tasoittuu ja säteilylähteen sekä suojamateriaalin välisen etäisyyden merkitys mitätöityy. [7]

Häiriön tunkeutumisvyvyys on riippuvainen materiaalista, jolla kotelointi on toteutettu, sillä myös tunkeutumisvyvyyteen vaikuttavat materiaalin johtavuus ja permeabiliteetti. Kuten edellä on todettu, on kuparilla terästä suurempi johtavuus, mutta näiden materiaalien suhteelliset permeabiliteetit ovat  $\mu_{z, Cu} = 1$  ja  $\mu_{z, Fe} = 300-600$ . Materiaalien välillä suurimmat erot ovatkin permeabiliteettien arvoissa. Tunkeutumisvyvyys on suuremman permeabiliteetin ja johtavuuden materiaaleilla pienempi, mutta johtavuuden pienien erojen takia permeabiliteetti on määräävämmässä asemassa. Näin ollen, toisin kuin heijastumisessa, teräksen ominaisuudet ovat tunkeutumisen kannalta kuparia paremmat. Suurien taajuuksien häiriöiden tapauksessa materiaalin sisällä tapahtuvaan vaimentumiseen vaikuttaminen valitsemalla pienemmän tunkeutumisvyvyyden materiaali on tärkeämpää kuin valita heijastusominaisuuksiltaan parempi materiaali. [7]

Muovikoteloinnissa voidaan siis kotelomateriaali päällystää joko molemmin puolin tai yhdeltä puolelta johtavalla pinnoitteella. Suojaustehokkuuteen vaikuttavat kuitenkin koteloinnin liitosten ja saumojen huolellinen päällystäminen, sillä näille alueille jää helposti ohuemman päällysteen ja näin ollen heikomman suojauksen kohtia. Johtavuus kärsii myös muovikoteloon helposti syntyvistä naarmuista, mitkä tarkoittavat paljaita aukkoja johtavassa pinnoitteessa. Sähkökenttiä vastaan suurilla taajuuksilla ovat muovikoteloin-

nin ominaisuudet lähellä metallikoteloinnin vastaavia tai näitä parempia. Johtavalla aineella päällystetty muovikotelointi ei kuitenkaan suojaa häiriöiden magneettikentiltä. Päällyste ja sen paksuus tulee valita aineen ominaisresistanssin perusteella, sillä ominaisresistanssi kasvaa päällystekerroksen paksuuden kasvaessa ja päällyste on sitä johtavampi mitä pienempi sen ominaisresistanssi on. [7]

#### 4.2.2 Aukot koteloinnissa

EMC-kotelointiin syntyy aukkoja, kun koteloon täytyy järjestää tuuletus, kaapeleita viedään kotelon läpi tai kotelon pintaan upotetaan mittauslaitteiden näyttöjä sekä tarkasteluikkunoita. EMC-koteloon tehdyn aukon sallittu läpimitta riippuu komponenttien aiheuttaman häiriösäteilyn aallonpituudesta. Suojauksen kannalta paras muoto aukolle on pyöreä ja keskusten kansiin tehtävät mittareiden tarkasteluaukot toteutetaan ympyrän muotoisina. Mittauslaitteiden näytöt taas ovat pääsääntöisesti suorakulmaisia, joten ne tulee upottaa suorakulmaisiin ja tiiviisiin aukkoihin kansissa. Suojauksen kannalta haastavimpia aukkoja ovat pitkät ja kapeat aukot esimerkiksi kaapeleiden läpiviennissä. Aukon pituus onkin leveyttä määräävämpi häiriön läpikäisyssä ja näin ollen mittauslaitteiden näyttöjen vaatimilla lähes neliön mallisilla aukoilla päästään hyvin lähelle pyöreän aukon tasoa suojauksessa. Kapean ja pitkän aukon haitallisuutta voidaan pienentää toteuttamalla aukko häiriösäteilyn suuntaisesti. Tällöin säteily ei kohtaa etenemissuuntaansa nähden poikittaista aukkoa ja pääsee etenemään suojakotelossa paremmin. [6, 7]

Näyttöille ja mittareiden tarkasteluikkunoille tehtävien aukkojen tulee siis olla mahdollisimman pyöreitä tai neliömäisiä, mutta tämän lisäksi on nämä aukot säteilyn etenemisen estämiseksi peitettävä esimerkiksi erillisellä näytön taakse asennettavalla metallikotelolla. Metallinen kotelo asennetaan näytön taakse suojaamaan itse näyttöä häiriölähteiltä ja vähentämään ympäristöön vuotavaa säteilyä. Vain pienten taajuuksien häiriöympäristöissä, joissa vaatimukset suojaukselle ovat vähäisemmät, voidaan suojaustehokkuuden lasku sallia ja näyttöjen lisäkotelointi jättää tekemättä. Lisätyn metallikotelon tulee olla muun EMC-kotelon lailla johtava ja lisäkotelon sekä muun kotelon välillä tulee olla johtava yhteys. Kun näytön taakse asennetaan lisäkotelo, tulee näytön johdot tuoda häiriösuodattimilla varustettuina häiriösäteilyn ja näytön kohtauspintaan nähden sille puolelle, jossa säteily on vähäisempää. [7]

Kennokeskuksen tuuletuksen parantamiseksi tulee EMC-kotelointiin tehdä joissain tapauksissa tuuletusaukkoja sekä aukkoja tuuletukselta varten asennettaville puhaltimille. Ilman kiertoa varten tehtyjä aukkoja on suojausta ajatellen parempi olla monta pienempää aukkoa kuin yksi iso tuuletusaukko. Myös kennon syvyyden ja aukon leveyden välillä on suojauksen kannalta kriittinen suhde. Minimissään kennon syvyys ja aukon leveys ovat suhteessa 4:1. Aukon leveyden pysyessä vakiona, paranee EMC-kotelon suojaustehokkuus, kun sen syvyyttä kasvatetaan. [7]

Kun EMC-koteloon tuodaan tai siitä ulos viedään kaapeleita, tulee näiden kaapeleiden suojavaipat maadoittaa koko kaapelin piirin pituudelta kotelon lävistyskohdassa. EMC-suojaus kaapeleille, joissa on itsessään suojavaippa, toteutetaan erillisillä läpivientiholkeilla. Suojavaipan maadoituksella estetään vaipassa etenevien häiriövirtojen aiheuttamat häiriöiden kytkeytymät johtamalla virrat maahan. Holkkien tulee olla aukoltaan kaapelin suurimman halkaisijan kokoisia ja materiaaaliltaan sellaisia, ettei korroosiota läpivientikohdan ja vaipan välillä tapahdu. Läpivientiholkin sijaan voidaan kaapelin suojavaipan maadoitus toteuttaa johtavalla pannalla, jolla kaapelin suojavaippa pakotetaan kontaktiin maadoitetun pinnan kanssa. Kun koteloinnin IP-luokitus sitä vaatii, on myös varmistettava, että käytetään vedenkestäviä holkkeja. Jos kaapelin ympäröivää suojasta ei voida toteuttaa, on suojavaippa kierrettävä lyhyeksi liittimellä varustetuksi johtimeksi ja liitetävä se suoraan maahan. Kaapeleille, joissa ei ole suojavaippaa, käytetään kotelon lävistyskohdassa suodatinta. [6, 7]

### 4.2.3 Kaapelointi EMC-kotelossa

Kaapelit voivat EMC-kotelossa ja siitä ulos lähtiessään, pituutensa ja indusoituvien häiriövirtojen takia, aiheuttaa jopa merkittävämpiä häiriöitä kuin varsinaiset häiriölähteet kotelon sisällä. EMC-suojatussa kotelossa kaapelit tulee sijoittaa niin lähellä käytettäviä asennuslevyjä kuin mahdollista, sillä tällöin matalaimpedanssinen maayhteys on aina kaapeleiden vieressä. Maayhteyden ansiosta magneetti- ja sähkökentät pääsevät purkautumaan paremmin maahan, eivätkä niin herkästi kytkeydy kaapeleihin. Koteloinnin johtamattomien kohtien, saumojen ja aukkojen kohdalla häiriökentät ovat voimakkaimmillaan ja kaapelointi näiden kohtien lähellä tulisi olla mahdollisimman vähäistä. Näin ollen, kaapeloinnin jatkuessa asennuslevyn ohi, tulee sen jatkua mahdollisimman lähellä kotelon muuta johtavaa rakennetta. Johtavalla rakenteella tulee lisäksi olla sähköinen yhteys asennuslevyyn, jotta suojaava maayhteys jatkuu. [6, 7]

Kaapeleiden välistä häiriöiden kytkeytymistä tulee välttää erottelemalla erilaista signaalia ja virtaa kuljettavat kaapelit toisistaan. Varsinkin kaapelit, joissa kulkee korkeataajuisia häiriövirtaa, tulee selvästi erottaa muista kotelon sisällä kulkevista kaapeleista. Signaalia ja tehoa siirtävien kaapeleiden tapauksessa tulee piirien paluujohtimien olla mahdollisimman lähellä vaihejohtimia. Tällöin kaapeleiden ympärillä vaikuttavaa magneettikenttää saadaan pienennettyä. Magneettikentän vaikutus pienenee entisestään, jos johtimina käytetään kierretyn parin johtimia ja jokaiselle johtimelle kaapeloidaan oma paluujohdin. Kierretyn parin johtimilla saadaan palaavalle signaalille varmistettua pienimmän impedanssin kulkureitti maahan. Tämä tulee kysymykseen varsinkin tilanteissa, joissa palaavalle signaalille on tarjolla monia reittejä. Näissä tapauksissa ei voida olla varmoja paluusignaalin valitsemasta paluujohtimesta ja johtimia ympäröivä magneettikenttä ei välttämättä pieneneäkään. [7]

Kappaleessa 4.2.2 selvitettiin kotelon lävistävien kaapeleiden suojaamista ja kaapeleiden suojavaipan merkitystä. Suojavaippa siis vähentää kaapelissa kulkevien häiriöiden kapasitiivista kytkeytymistä ja kaapelia ympäröivän magneettikentän aiheuttamia häiriöitä. Suojavaipassa kulkevan virran ja vaipan molempien päiden maadoittamisen myötä kaapelissa kulkeviin muihin johtimiin indusoituneet häiriövirrat saadaan poistettua. Kaapelissa kulkevan signaalin lähteen ja vastaanottajan ollessa maadoitettuja, tulee kuitenkin vain toinen pää suojavaipasta maadoittaa. Näin kapasitiivinen kytkeytyminen vaipan ja johtimien välillä vaikeutuu ja häiriöitä aiheuttava magneettikenttä pienenee. Jos tällaisessa tapauksessa vaipan molemmat päät maadoitettaisiin, muodostuisi vaipasta suuren pinta-alan silmukka ja siihen pääsisi syntymään häiriöjännitettä. [7]

### 4.3 EMC-ympäristöt ja niiden vaatimukset

Pienjännitekeskusstandardissa jaetaan EMC-häiriöt kahteen alueeseen, A ja B. Taulukoon 1 on koottu vaatimukset säteileville ja johtuville radiotaajuisille häiriöpäästöille EMC-ympäristössä A. EMC-ympäristön A tiloja ovat teollisuuden pienjänniteasennukset, -tilat ja -verkot sekä voimakkaat häiriölähteet. [1]

*Taulukko 1. EMC-ympäristön A vaatimukset häiriöpäästöille [1].*

EMC-häiriöpäästö	Raja-arvo häiriöjännitteelle [ $\mu\text{V}/\text{m}$ ]	Taajuusalue [MHz]
Säteilevä	Huippuarvo 10 metrin etäisyydellä: 40	20...230
	Huippuarvo 10 metrin etäisyydellä: 47	230...1000
	Raja-arvo häiriöjännitteelle [ $\mu\text{V}$ ]	Taajuusalue [MHz]
Johtuva	Huippuarvo: 79 Keskiarvo: 66	0,15...0,5
	Huippuarvo: 73 Keskiarvo: 60	0,5...30

Ympäristön A tilojen laitteet on kytketty muuhun verkkoon kuin yleiseen pienjännitejaka-verkkoon. Tilat, joissa on suuria kapasitiivisia tai induktiivisia kuormia tai, joissa vaikuttaa suuria magneettikenttiä suurien virtojen vuoksi, ovat esimerkkejä EMC-ympäristön A tiloista. Myös lääketieteellisiä, tuotannollisia ja tutkimiseen käytettäviä laitteita sisältävät tilat luokitellaan A-ympäristöiksi. [1]

Taulukossa 2 on esitetty EMC-ympäristölle B pienjännitekeskusstandardissa asetetut säteilevien ja johtuvien häiriöpäästöjen vaatimukset. EMC-ympäristön B tiloja puolestaan ovat kevyen teollisuuden, myynnin ja asumisen tilat. [1]

*Taulukko 2. EMC-ympäristön B vaatimukset häiriöpäästöille [1].*

EMC-häiriöpäästö	Raja-arvo häiriöjännitteelle [ $\mu\text{V/m}$ ]	Taajuusalue [MHz]
Säteilevä	Huippuarvo 10 metrin etäisyydellä säteilylähteestä: 30	20...230
	Huippuarvo 10 metrin etäisyydellä säteilylähteestä: 37	230...1000
	Raja-arvo häiriöjännitteelle [ $\mu\text{V}$ ]	Taajuusalue [MHz]
Johtuva	Huippuarvo: 66 Keskiarvo: 56	0,15...0,5
	Huippuarvo: 56 Keskiarvo: 46	0,5...5
	Huippuarvo: 60 Keskiarvo: 50	5...30

Näissä ympäristöissä ei esiinny voimakkaita häiriölähteitä ja tiloja syötetään yleisestä pienjännitejakeluverkosta. Kevyttä teollisuutta, jotka lasketaan B-ympäristöiksi, ovat huoltamot ja esimerkiksi laboratoriot. B-ympäristöiksi luokiteltavia myynti- ja asumistiloja puolestaan ovat tavaratalot, ravintolat, erilaiset liikekiinteistöt sekä omakoti- ja kerrostalot. [1]

Pienjännitekeskusstandardissa jaetaan EMC-häiriöpäästövaatimukset sekä säteileviin että johtuviin radiotaajuisiin päästöihin. Häiriöpäästöjen edellytykset kuvaavat radiotaajuuksista häiriintyvien laitteiden liitântäkaapeleihin muodostuvia häiriöitä, jotka ovat radiotaajuisen häiriöjännitteen aikaansaamia. Säteilevälle häiriölle on raja-arvot määritetty standardissa mittauasetäisyydellä 10 m säteilijästä. Häiriön taajuudet on säteilevän häiriöpäästön vaatimusten osalta jaettu alueisiin 20...230 MHz ja 230...1000 MHz. Johtuvalle häiriölle nämä alueet puolestaan ovat 0,15...0,5 MHz ja 0,5...30 MHz. Säteilevän häiriöpäästön taajuusalueet ovat vastaavat kuin EMC-ympäristölle A, mutta johtuvan häiriöpäästön taajuudet on jaettu alueisiin 0,15...0,5 MHz, 0,5...5 MHz ja 5...30 MHz. Johtuvan häiriöjännitteen raja-arvot laskevat lineaarisesti taajuuden laskiessa logaritmisesti taajuusalueella 0,15...0,5 MHz. EMC-ympäristöissä A ja B tulee säteilevän häiriöpäästön



raja-arvoihin lisätä  $10 \mu\text{V/m}$ , jos mittaus suoritetaan 3 metrin etäisyydeltä säteilijästä. Jos mitataan häiriöpäästöä 30 metrin etäisyydeltä, tulee raja-arvoista vähentää  $10 \mu\text{V/m}$ . Säteilevien päästöjen eli häiriölähteiden aiheuttamien radiotaajuisien sähkökenttien näennäishuippuarvoille annetaan pienjännitekeskusstandardissa raja-arvot desibeleinä, jotka sähkökentän arvoilla tarkoittavat yksikköä  $\mu\text{V/m}$ . Sähkökenttien sallitut taajuusalueet EMC-ympäristöissä osuvat taajuusalueelle 30 MHz...1 GHz ja standardin mukaisesti mittaukset voidaan toteuttaa 3, 10 ja 30 metrin etäisyydeltä säteilijästä. Johtuvien häiriöjännitteiden raja-arvot taas osuvat EMC-ympäristöjen vaatimuksissa taajuusalueelle 0,15 kHz...30 MHz ja raja-arvot annetaan yksikössä  $\mu\text{V}$ . [1]

Sähkökeskusten EMC-häiriönsietovaatimukset ja raja-arvot on pienjännitekeskusstandardissa määritelty säteilevälle radiotaajuiselle sähkömagneettiselle kentälle, syöksyaalloille, sähköstaattiselle purkaukselle, johtuville radiotaajuisille häiriöille, nopeille kytkentätransienteille, käyttötaajuiselle magneettikentälle, jännitteen alenemalle, jännitteen vaihteluille, jännitekatkosten aiheuttamille häiriöille sekä syöksyaalloille. Häiriönsietovaatimusten mukaisten ilmiöiden esiintyessä syöttävässä verkossa, saa keskukseen asennettujen laitteiden suorituskyky kuitenkin keskuksen häiriönsiedosta huolimatta alentua standardin mukaisesti häiriön aikana. Laitteille on kuitenkin annettu standardissa omat suorituskykyvaatimukset, joiden tulee ympäristöjen A ja B osalta täytyä. [1]

## 5. SÄHKÖKÄYTTÖJEN TAAJUUSMUUTTAJAT

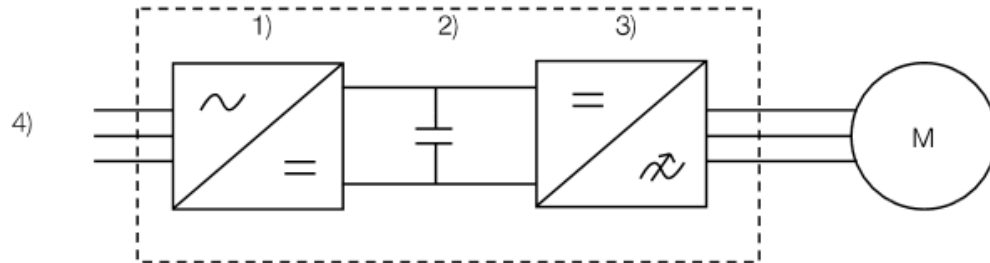
Taajuusmuuttaja on tehoelektroniikan komponentti, jota käytetään sekä kotitalouksissa että teollisuudessa tehon säätöön ja valvontaan. Taajuusmuuttajasäädöllä voidaan moottorin teho määritellä optimaaliseksi ja toisaalta myös suorittaa moottorin toiminnan valvontaa. Nykyään varsinkin kerrostalojen pumppu- ja puhallinkäytöissä taajuusmuuttajia käytetään nopeuden säätöön, sillä taajuusmuuttajien avulla pystytään monissa prosesseissa säästämään energiaa. Energian säästö perustuu taajuusmuuttajan kykyyn säätää koneen pyörimisnopeutta ja vääntömomenttia portaattomasti moottorikäytölle juuri sopivaksi. Myös sähkömoottoreiden käynnistykset ja pysäytykset ovat taajuusmuuttajakäytöllä tasaisia, jolloin moottoreiden mekaaniset rasitukset vähenevät. Teollisuudessa käyttökohteita ovat esimerkiksi materiaalinkäsittely sekä erilaiset nostimet ja linjastot. [8]

Taajuusmuuttajan käyttö prosessin säätöön on nykyään edullinen ratkaisu helpon käytettävyyden ja asennettavuuden kannalta. Taajuusmuuttajien ohjaaminen on myös helpottunut nykypäivään tullessa eivätkä säätöjen epätarkkuudet enää kuluta kohtuuttomasti energiaa. Sähkökeskusten kannalta taajuusmuuttajan asentaminen keskusten läheisyyteen seinälle tai itse keskukseen tuo kuitenkin omat ongelmansa EMC-suojaukseen. Taajuusmuuttajan ollessa seinälle asennettuna, tuo sähkökeskuksen läpi kulkeva syöttö- ja lähtökaapeli suojausongelmia. Keskuksen sisään asennettuna itse taajuusmuuttaja ja siitä lähtevät kaapelit tuovat haasteensa standardien mukaisen EMC-suojauksen toteuttamiseen. [2, 8]

### 5.1 Taajuusmuuttajakäytöt ja niiden mitoitus

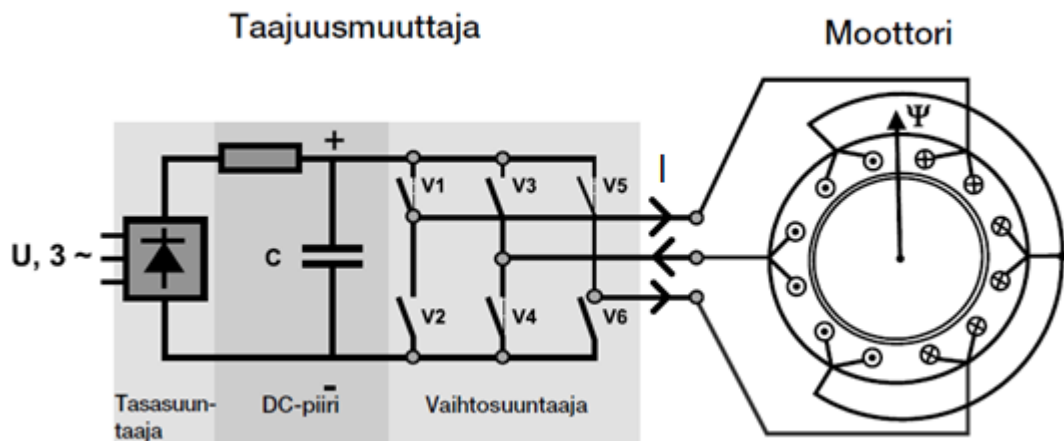
Nopeussäädettyjä käyttöjä tarvitaan, jotta esimerkiksi ilmastoinnin tarpeisiin lämpötilan ja kosteuden muuttuessa pystytään vastaamaan. Myös teollisuudessa erilaisten prosessien tehontarve vaihtelee jopa päivittäin. Nopeutta ja näin ollen tuottavuutta voidaan vaihtovirtakäytöissä lisätä prosessin edetessä 5...20 % ilman ongelmia ja lisäkustannuksia. Prosessijärjestelmissä nopeussäädettyjä käyttöjä käytetäänkin koneiden mekaanisen tehon säätöön. Nopeussäädettyyn käyttöön kuuluu energiansäätö, moottori ja tehonsiirto. Tällainen käyttö pystyy mukautuvasti muuttamaan teholähteestä syötetyn sähköenergian työtätekevän koneen käyttämäksi mekaaniseksi energiaksi. Prosessin nopeutta voidaan säätää jokaisessa käytön kolmessa osassa käyttämällä energiansäätökomponenttina taajuusmuuttajaa, moottorikomponenttina kaksinopeusmoottoria ja tehonsiirtokomponenttina vaihteita. [8]

Taajuusmuuttaja koostuu tasasuuntaajasta, tasajännitevälipiiristä ja vaihtosuuntaajasta. Kuvassa 7 on esitetty taajuusmuuttajan periaatekuva. Kohdassa 1 on sähkönsyötön tasasuuntaaja ja kohdassa 3 kolmivaihevirralla käyvän moottorin vaatima vaihtosuuntaaja. Kohta 2 kuvaa tasa- ja vaihtosuuntaajan välistä tasajännitevälipiiriä ja kohta 4 moottoria syöttävää verkkoa. [2]



**Kuva 7.** Taajuusmuuttaja: 1) tasasuuntaaja, 2) tasajännitevälipiiri, 3) vaihtosuuntaaja, 4) sähkönsyöttö [2].

Vaihtovirtamoottori muuntaa sähköenergian mekaaniseksi energiaksi sähkömagneettisen induktion avulla. Staattorin käämin jännite muodostaa virran ja magneettivuon  $\Psi$ , jonka suunta riippuu jännitteen suunnasta. Kuvassa 8 on taajuusmuuttajan ja moottorin kytkentä. Kun jännitteen suuntaa moottorin käämissä muutetaan, saadaan magneettivuo moottorissa pyörimään. Moottorin roottori taas seuraa magneettivuota tietyllä jättämällä. Moottorin säätö perustuu siis sähkömagneettisen induktion säätöön ja se voidaan toteuttaa taajuusmuuttajalla. [8]









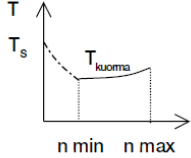

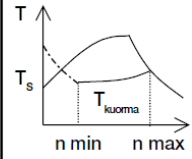

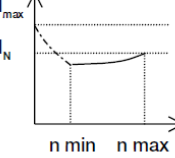

**Kuva 8.** Taajuusmuuttajakäyttö [8].

Taajuusmuuttajan tasasuuntaajalle tuodaan taajuudeltaan 50 Hz:n 3-vaihevirtaa, jonka tasasuuntaaja muuttaa tasavirraksi. Tasajännitevälipiirin navoille muodostuu tasajännite, jonka välipiiri suodattaa sykkiväksi jännitteeksi. Vaihtosuuntaajayksikkö puolestaan kyt-

kee jokaisen moottorivaiheen V1-V6 joko negatiiviseen tai positiiviseen tasajännitevälipiiriin tietyssä järjestyksessä. Vuo etenee kuvan 8 osoittamaan suuntaan, kun suljetaan kytkimet V1, V4 ja V5. Erilaisia kytkinasentojen variaatioita on vaihtosuuntaajassa kahdeksan. Kahdessa kytkinasentojen tilanteessa on moottorin käämin jännite nolla ja kuudessa muussa tilanteessa muodostaa käämin jännite magneettivuon. Käämin jännite aiheuttaa myös virtoja, joiden suunnat ovat esitettynä kuvassa 8. Sähkökäytön säätö on taajuusmuuttajalla edullista, sillä säätäminen on portaattomuuden takia tarkkaa. Tämän lisäksi sähkökytkentä transistoreilla on tehokas, minkä ansiosta taajuusmuuttajan hyötysuhde on välillä 0,97...0,99. [8]

Sähkömoottorin ohjaukseen käytettävä taajuusmuuttaja tulee valita käyttöpaikan olosuhteiden ja moottorin perusteella, sillä taajuusmuuttajan tulee tuottaa haluttu virta ja teho moottorille. Toisaalta taajuusmuuttajan ylikuormitusta voidaan hetkittäin hyödyntää, jos kuormana on lyhytaikainen jaksottainen kuormitus. Valinnan kriteereinä ovat siis kuormitustyyppi, jatkuva- ja maksimivirta sekä syöttävä sähköverkko. Taulukossa 3 on yleiskuvaus taajuusmuuttajakäytön mitoittamiseen vaikuttavista tekijöistä ja mitoituksen vaiheista. Mitoituksen vaiheet ovat taulukon 3 ensimmäisessä sarakkeessa. [2]

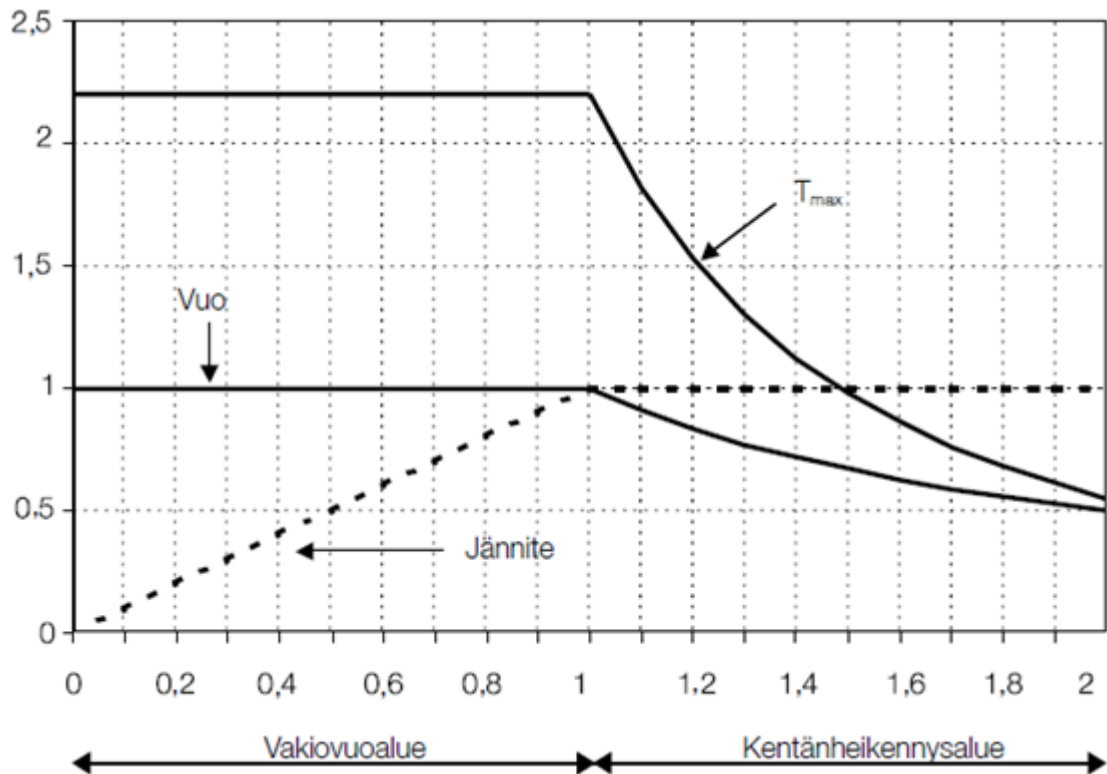
**Taulukko 3.** Yleiskuvaus taajuusmuuttajakäytön mitoittelusta [2].

Mitoituksen vaiheet	Verkko	Muuttaja	Moottori	Kuorma
				
Tarkista syöttävä sähköverkko ja kuormitus	$f_N=50\text{Hz}, 60\text{Hz}$ $U_N=380\ldots690\text{V}$			
Valitse moottori seuraavien tekijöiden mukaan: • Lämpökuormitettavuus • Kierroslukualue • Tarvittava maksimimomentti				
Valitse taajuusmuuttaja seuraavien tekijöiden mukaan: • Kuormitustyyppi • Jatkuva ja maksimivirta • Syöttöverkko				

Syöttävä sähköverkko vaikuttaa taulukon 3 mukaisesti sekä moottorin että taajuusmuuttajan valintaan. Kuorman osalta on esitetty kuormitusta kuvaava momenttikäyrä, joka

vaikuttaa sähkömoottorin valintaan. Myös moottorin osalta on esitetty sen momenttikäyrä, joka puolestaan vaikuttaa taajuusmuuttajan valintaan, sillä taajuutta muuttamalla vaikutetaan moottorin momenttiin. Taajuusmuuttajan virtakäyrä on mitoituksen kolmannen vaiheen kannalta merkitsevin. [2]

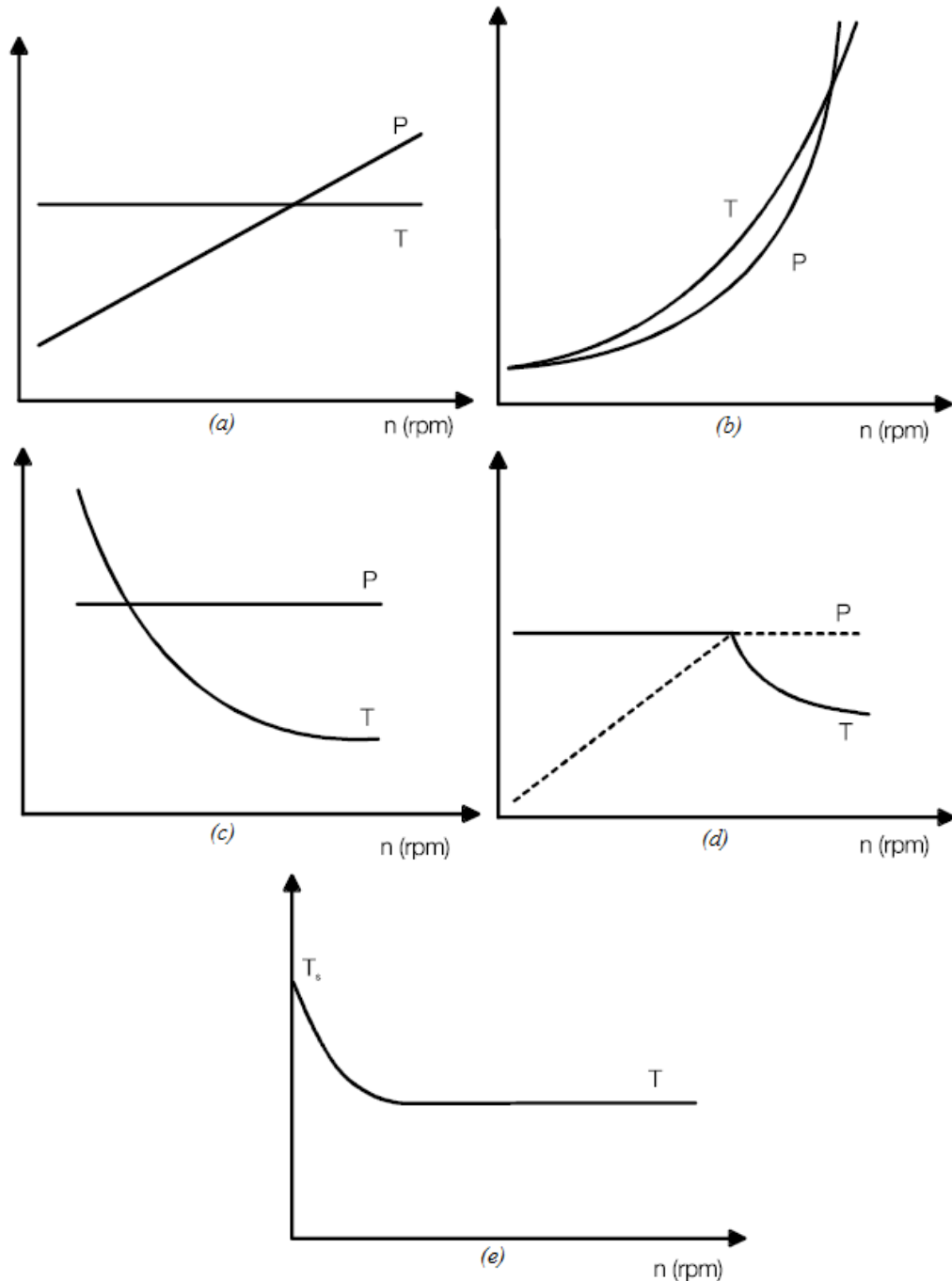
Kuvassa 9 on esitetty moottorin maksimimomentti, -jännite ja -vuo suhteellisen pyörimisnopeuden funktiona. Pyörimisnopeus on ilmoitettu suhteessa taajuuteen. Y-akselilla on periaatteellinen asteikko maksimijännitteelle, -vuolle ja -momentille. Moottorin nimellistaajuuden määräämän nopeuden alapuolella oleva nopeusalue on niin sanottu vakiovuoalue. Nimellistaajuuden määräämän nopeuden yläpuolella moottori puolestaan toimii kentänheikennysalueella. Moottori voi kentänheikennysalueella toimia vakioteholla, joten aluetta nimitetään myös vakiotehoalueeksi. Oikosulkumoottorin maksimimomentti on verrannollinen magneettivuon neliöön  $T_{max} \sim \psi^2$ . Näin ollen maksimimomentti on vakiovuoalueella lähes vakio. Kentänheikennysalueella maksimimomentti laskee kääntäen verrannollisesti suhteessa taajuuden neliöön. [2]



**Kuva 9.** Oikosulkumoottorin periaatteellinen maksimimomentti, -jännite ja -vuo taajuuteen suhteessa olevan pyörimisnopeuden funktiona [2].

Kuormituksen vaikutus riippuu kuormitusprofiilista, josta tulee tuntea kierrosalue, momentti ja teho. Kuormitustyyppinä esimerkiksi teollisuudessa voivat olla vakiomomentti, neliöllinen momentti, vakioteho, vakioteho- ja momentti ja kuorma, joka tarvitsee käynnistys- ja irrotusmomentin. Kuvassa 10 on koottuna tyypilliset momentti- ja tehokäyrät kuormitustyypeittäin pyörimisnopeuden funktiona. Pyörimisnopeus on x-akselilla

yksikössä kierrosta minuutissa (rpm) ja y-akseli osoittaa suureiden periaatteellisen käyttäytymisen. A-kohdan periaatekäyrä kuvaa kuormitusta, jonka momentti on vakio ja kohta b kuormitusta, jonka momentti on neliöllinen. Kohdassa c on periaatekäyrä vakioteholliselle kuormitukselle ja kohdassa d kuormitukselle, jolla on sekä vakio teho että -momentti. Kohdassa e on tyypillinen momenttikäyrä sovellukselle, jossa tarvitaan käynnistysmomenttia. Kuvassa 10  $T$  on momentti,  $P$  teho ja  $T_s$  käynnistysmomentti. [2]



**Kuva 10.** Tyypilliset momentti- ja tehokäyrät kuormitustyypeille [2].

Vakiomomentillisiä sovelluksia ovat esimerkiksi kuljettimet ja syöttölaitteet, joiden teho on suoraan verrannollinen kierroslukuun. Neliöllisen momentin kuormia ovat tyypillisesti

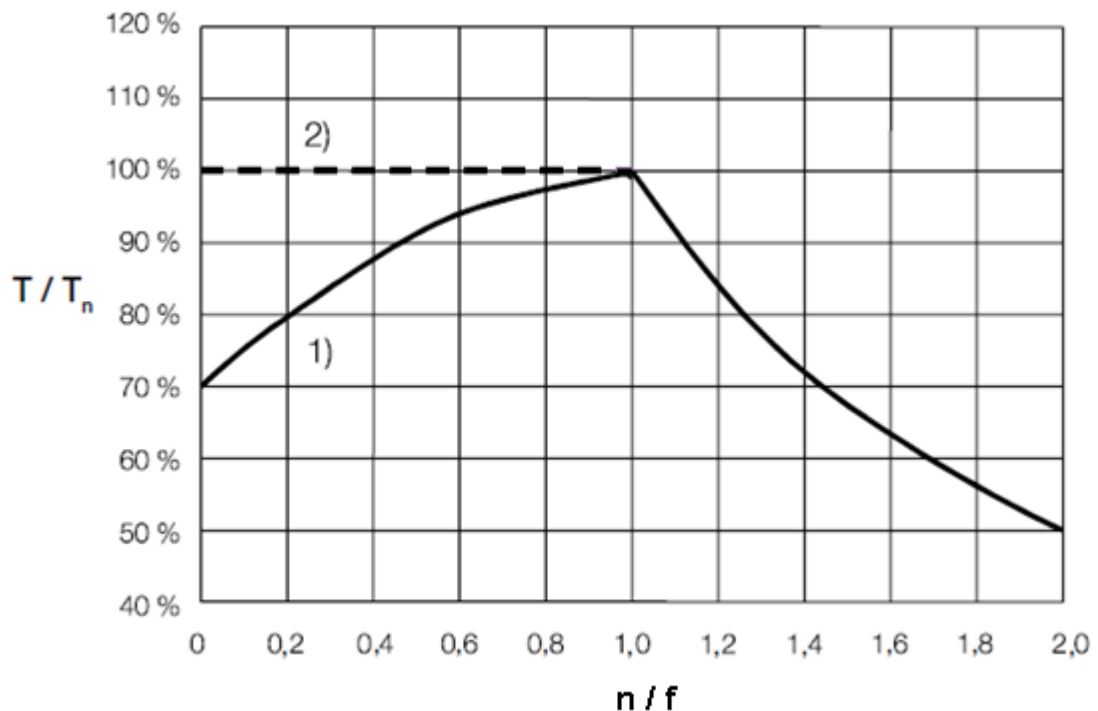
puhaltimet ja keskipakopumput. Näillä kuormituksilla momentti on neliöllisesti ja teho kuutiollisesti verrannollinen kierroslukuun. [2]

Vakiotehollisilla sovelluksilla teho pysyy vakiona ja momentti on kääntäen verrannollinen kierroslukuun. Vakiotehon ja -momentin sovellutukset ovat yleisiä paperiteollisuudessa ja ne koostuvat sekä vakiotehollisista että vakiomomentillisistä kuormitustyypeistä. Vakiotehon ja -momentin kuormitustyyppi syntyy, kun järjestelmän mitoittava tekijä on suurella kierrosluvulla tarvittava teho. Joissakin kuormitussovelluksissa tarvitaan suuri momentti pienillä taajuuksilla auttamaan käynnistyksessä. Näiden kuormitustyyppien lisäksi voi esiintyä esimerkiksi erilaisia symmetrisiä ja epäsymmetrisiä kuormia. Tällaisissa kuormitustyypeissä momentin symmetrisyyden ja epäsymmetrisyyden määrää sen suhde kulmaan tai aikaan. Moottorin ja taajuusmuuttajan ylikuormitusmarginaalit ja moottorin keskimääräinen momentti tulee mitoittaa tarkkaan symmetristen ja epäsymmetristen kuormien tapauksessa. Kuormitustyyppien mukaan mitoittamisen lisäksi on otettava huomioon sekä moottorin että taajuusmuuttajan terminen kuormitettavuus, sillä se määrää moottorin pitkäaikaisen kuormitettavuuden maksimiarvon. Itse moottori on yleensä itsejäähdytteinen, mikä laskee termistä kuormitettavuutta moottorin pyörimisnopeuden laskiessa. Erillisjäähdytteisen moottorin tapauksessa momentti rajoitetaan termisesti kentänheikennysalueelle. [2]

Kuvassa 11 on esitetty vakio-oikosulkumoottorin tyypillinen kuormitettavuus suhteellisen pyörimisnopeuden funktiona sekä erillisjäähdytteiselle että itsejäähdytteiselle moottorille. Pyörimisnopeus on x-akselilla suhteessa taajuuteen. Moottorin momentti on  $T$  ja moottorin nimellinen momentti on  $T_n$ . Käyrä 1 kuvaa kuormitettavuutta, kun moottorille ei ole järjestetty erillistä jäähdytystä ja käyrä 2 kuormitettavuutta, kun moottori on erillisjäähdytetty. Erillisjäähdytteistä moottoria voidaan kuormittaa kuvan 11 mukaisesti myös alhaisilla kierrosluvuilla. Vaihtovirtamoottoria voidaan myös ylikuormittaa lyhytaikaisesti ilman ylikuumenemista. Ylikuormitusta taas rajoitetaan maksimimomentin turvamarginaalilla. Lyhytaikaisen ylikuormituksen rajoittavana tekijänä on kuitenkin lähes aina taajuusmuuttajan lyhytaikainen kuormitettavuus. Lämmönnousuaika moottorin termiselle kestolle on moottorin koosta riippuen 15 minuutista tuntiin, kun taas taajuusmuuttajalle vastaava aika on muutama minuutti. [2]

Taajuusmuuttajaa mitoitettaessa voidaan mitoitusvirta laskea, jos momentin profiili tunnetaan. Mitoitusvirtaa taas voidaan vertailla taajuusmuuttajan käyttöohjeissa ilmoitettuihin virtarajoihin. Pelkän moottorin nimellisvirran avulla saatu profiili ei kuitenkaan aina ole luotettavin mitoituksen kannalta, sillä moottoria ja sen kuormitusta on ehkä ympäristön lämpötilan mukaan rajoitettu. Toinen tärkeä mitoituskriteeri on käytettävä syöttöjännite. Vaihtelut moottoria syöttävässä jännitteessä vaikuttavat moottorin akselitehoon. Kun syöttöjännite on nimellisjännitettä pienempi, siirtyy kentänheikennyspiste alhaisemmalle taajuudelle. Vastaavasti moottorin maksimimomentti redusoituu kentänheikennys-

alueelle. Näin ollen myös taajuusmuuttaja rajoittaa moottorin maksimimomenttia. Järjestelmässä tapahtuvat tehohäviöt muuntajissa, kuristimissa ja johtimissa tulee myös kattaa taajuusmuuttajan mitoituksella. [2]



**Kuva 11.** Vakio-oikosulkumoottorin tyypillinen kuormitettavuus taajuusmuuttajalla säädetyssä käytössä 1) ilman erillistä jäähdytystä ja 2) erillisjäähdytyksellä [2].

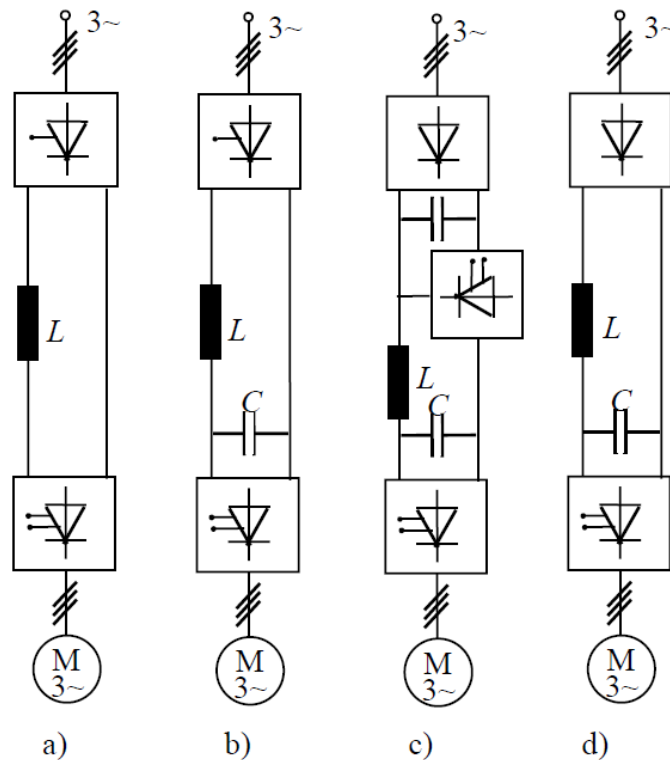
Taajuusmuuttajan ja sähkömoottorin yhteiskäyttöä kutsutaan siis taajuusmuuttajakäytöksi. Moottorin käynnistyksessä taajuutta pyritään nostamaan siten, että moottorin jättämä on koko ajan huippujättämää pienempi. Tällaisella käynnistyksellä saadaan moottorin irrotusmomentti nimellismomentin suuruiseksi, eikä taajuusmuuttajan mitoitusarvoja ylitetä. Oikosulkumoottorin staattorin resistansseissa esiintyy taajuusalueella 0...10 Hz huomattavia jännitehäviöitä. Staattorin resistanssien jännitehäviöitä voidaan kuitenkin kompensoida IR-kompensoinnilla, jolloin taajuusmuuttajan lähtöjännitettä kasvatetaan niin, että moottorin magnetointi pysyy haluttuna. Tasainen käynnistys jättämän osalta vaatii, että taajuusmuuttajan minimitaajuus on taajuusalueella 0,5...2 Hz. Näin ollen moottorin kannalta paras käynnistys vaatii myös mahdollisimman täydellistä IR-kompensointia. [3]

Taajuusmuuttajakäytöissä käytetään välipiirillä varustettuja taajuusmuuttajia. Verkon puolelta ensimmäisenä taajuusmuuttajan osana on tasasuuntaaja. Välipiirin tarkoituksena on suodattaa tasasuuntaajan syöttämä tasajännite LC-alipäästösuodattimella tai muuttaa se tasavirraksi tasoituskuristimella. Taajuusmuuttajan viimeinen osa eli vaihtosuuntaaja taas muuttaa välipiirin syöttämän tasasähkön vaihtosähköksi halutulla taajuudella. Taajuusmuuttajan ohjausyksiköllä voidaan varmistaa, että toiminta on koko ajan tarkoituksenmukaista. [3]



Välipiirin rakenne jakaa taajuusmuuttajat kahteen päätyyppiin. Kun välivirtapiirinä on pelkkä tasoituskuristin, on taajuusmuuttajan tyyppi tasavirtavälipiirillä varustettu taajuusmuuttaja. Tämän tyyppin taajuusmuuttaja on toiminnaltaan virtalähde, joka varmistaa moottorin navoille halutun jännitteen syöttämällä sopivan virran. Ohjatulla tasasuuntaajalla tai tasasähköpiirin kanssa sarjaan kytketyllä tasavirtakatkojalla voidaan määrittellä syötetyn virran amplitudi. Tasavirtavälipiirillinen taajuusmuuttaja soveltuu yksittäismoottorikäyttöille ja siihen kytkettävän moottorin on nimellisteholtaan vastattava taajuusmuuttajan määräämää tehoaluetta. [3]

Jos taajuusmuuttajan välipiiri sisältää LC-alipäästösuodattimen, on taajuusmuuttaja tyyppiltään tasajännitevälipiirillinen taajuusmuuttaja. Lähtöjännitteen amplitudi pystytään näissä määrittelemään säätämällä välipiirin jännitettä tai muuttamalla lähtöjännitteen pulssikuviota pulssileveysmoduloinnilla (PWM). Tasajännitevälipiirin sisältämät taajuusmuuttajat sopivat sekä yksittäis- että monimoottorikäyttöihin. Kuva 12 on kuvaus erilaisista taajuusmuuttajavaihtoehdoista. Kohdassa a on tasavirtavälipiirillinen taajuusmuuttaja ja kohdassa b taajuusmuuttaja, jonka välipiirin tasajännitettä ohjataan. Kohdassa c ohjataan välipiirin tasajännitettä katkojalla ja kohdassa d on PWM-taajuusmuuttaja. [3]



**Kuva 12.** Taajuusmuuttajavaihtoehdot: a) tasavirtavälipiiri, b) ohjattu tasajännite, c) tasajännitteen ohjaus katkojalla, d) PWM-taajuusmuuttaja [3].

Kuvan 12 vaihtoehtoista PWM-taajuusmuuttaja on yleiskäyttöisin ja se eroaa tasajännitevälipiirillisistä tyypeistä säätönopeuden ja verkkovaikutusten osalta. PWM-taajuusmuuttajassa jännitettä säädetään vaihtosuuntaajassa, mikä mahdollistaa hyvän säätönopeuden. Taajuusmuuttajilla, joiden tasajännitevälipiirin jännitettä säädetään, on huono

säätönopeus, sillä välipiirin suurta kondensaattoria joudutaan varaamaan ja purkamaan välipiirin jännitteen muuttuessa. Verkosta PWM-taajuusmuuttaja ottaa diodisiltansa ansiosta lähes pelkästään pätötehoa kun taas taajuusmuuttaja, jossa syöttävään sähköverkkoon kytketty verkkokommutoitu suuntaaja ohjaa jännitettä, kuluttaa myös loistehoa. [3]

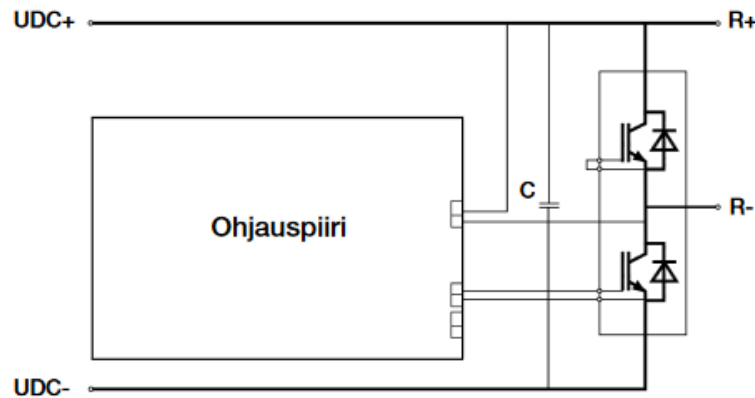
### 5.1.1 Sähköinen jarrutus

Vaihtovirtakäytössä moottorin tarvitsema teho virtaa taajuusmuuttajan tasasuuntaajan, tasajännitevälipiirin ja vaihtosuuntaajan kautta moottoriin. Tehoon verrattuna tasavirtakondensaattoreihin varastoitunut energia on hyvin pieni, jolloin tasasuuntaajan on kaiken aikaa huolehdittava moottorin tarvitsemasta tehosta ja käytön häviöistä. Vaihtovirtakäytöissä teho voi myös luonnollisesti virrata prosessista käyttöön, jolloin mekaanista järjestelmää on jarrutettava tietyn ajan. Prosessissa voi myös olla eri pyörimisnopeuksia, joten moottori toimii generaattorina joko vakionopeudella tai vaihtelevalla nopeudella. Käytön laitteet tuleekin muiden mitoitusien lisäksi mitoittaa jarrutustehon mukaan. Mekaaninen jarrutusteho taas riippuu jarrutusmomentista sekä pyörimisnopeudesta. Mitä suurempi pyörimisnopeus, sitä suurempi teho ja edelleen jännite tarvitaan. Pienijännitteisen vaihtovirtakäytön kustannuksia määrittää ensisijaisesti virta. Näin ollen jännite pyritään saamaan mahdollisimman suureksi, jotta sama teho tuotetaan pienemmällä virralla. Tulee myös huomata, että moottorin magnetointivirta ei tule taajuusmuuttajaa syöttävästä vaihtovirtalähteestä, joten taajuusmuuttajan vaihtosuuntaajaan syötettävä virta on pienempi kuin moottoriin syötettävä virta. [9]

Jarrutettaessa sähkökäytöllä, kasvatetaan magneettivuota ja näin ollen myös moottorissa käytettyä magnetointivirtaa. Moottorille saadaan haluttu momentti ja magneettivuo, kun vaihtosuuntaajaa säädetään suoralla momenttisäädöllä. Tyypillisessä tasavirtajarrutuksessa tasavirtaa syötetään moottoriin ja magneettivuon säätö häviää jarrutuksen aikana. Suoran momenttisäädön vojojarrutuksessa mahdollistetaan tarvittaessa moottorin vaihto jarrutustehosta moottoritehoon. Virrankasvu vojojarrutuksen aikana aiheuttaa kuitenkin lisähäviöitä moottorin sisäisissä vastuksissa. Lisäksi moottorin jarrutusteho kasvaa, vaikka taajuusmuuttajan jarrutusteho ei kasva. [9]

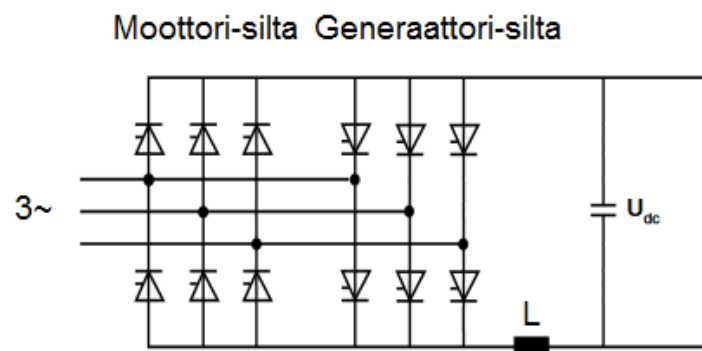
Taajuusmuuttajan tasasuuntaaja on yleensä 6- tai 12-pulssinen dioditasasuuntaaja, joka siirtää tehoa syöttävästä verkosta tasajännitevälipiiriin, mutta ei toisin päin. Jos tehovirtaus kuitenkin muuttuu, varaa prosessin syöttämä teho tasavirtakondensaattorit. Tämä taas näkyy välipiirissä tasajännitteen nousuna. Kondensaattoreiden kapasitanssi on alhainen vaihtovirtakäytöissä, joten jännitteen kasvu on nopeaa. Taajuusmuuttajan sisäiset komponentit kestävät kuitenkin vain tietyn tasoisen jännitteen. Jotta tasajännitevälipiirin jännite ei nouse liikaa, voi vaihtosuuntaaja estää tehovirtauksen prosessista taajuusmuuttajaan rajoittamalla jarrutusmomenttia niin, että välipiirin vakiojännitetaso säilyy. Tasajännitteen liiallista nousua voidaan myös rajoittaa johtamalla jarrutusenergia vastukseen elektronisen kytkimen kautta. Tätä kytkintä kutsutaan jarrukatkojaksi ja se liittyy välipiiri-

rin tasajännitteen vastukseen, jossa jarrutusenergia muutetaan lämmöksi. Kun jarrukatkoja havaitsee välipiirin tasajännitteen ylittäneen vaihtosuuntaajan nimellisjännitteeseen verrannollisen asetetun rajan, aktivoituu se automaattisesti. Kuvassa 13 on esitetty esimerkki jarrukatkojen piirikaaviosta. [9]



**Kuva 13.** Jarrukatkojen esimerkkipiirikaavio [9].

Kuvassa 13 UDC+ ja UDC- ovat taajuusmuuttajan tasajännitewälipiirin liittimet ja R+ sekä R- jarruvastuksen liittimet. Jarrukatkojen kondensaattori on merkitty kuvaan 13 kapasitanssina C. Jarrukatkojen ja -vastuksen etuina ovat yksinkertainen rakenne ja tunnettu tekniikka. Katkoja ja vastus ovat myös hyvin edullisia komponenttilisäyksiä. Lisäksi katkoja toimii, vaikka vaihtovirran syöttö olisi poikki. Tätä ominaisuutta hyödynnetään varsinkin silloin, kun jarrutusta tarvitaan myös sähkökatkon aikana. Esimerkki tällaisesta sovelluksesta on hissi. Jarrukatkoja ja -vastusta tulisi käyttää sovelluksissa, joissa jarrutus on satunnaista ja jarrutusenergian määrä on erittäin pieni verrattuna moottorin energiaan. Dioditasasuuntaussillat voidaan taajuusmuuttajassa korvata myös kahdella vastarinnankytketyllä tyristoritasasuuntaajalla. Kuvassa 14 on vastarinnankytketyn tyristorisyöttöyksikön piirikaavio. [9]



**Kuva 14.** Vastarinnankytketyn tyristorisyöttöyksikön piirikaavio [9].

Kuvassa 14 on kolmivaihesyöttö kuvattu merkinnällä 3~. Tasavirtakuristin on merkitty induktanssina L ja tasajännite merkintänä  $U_{dc}$ . Tyristorisyöttöyksikössä on kaksi 6-pulsista tyristorisiltaa, moottorisilta ja generaattorisilta. Moottorisilta muuntaa syötetyn

vaihtovirran tasavirraksi ja syöttää tehoa käyttöihin välipiirin kautta. Generaattorisilta taas muuntaa tasavirran takaisin vaihtovirraksi, kun moottorin ylimääräinen jarrutusteho siirretään takaisin syöttävään verkkoon. Kun toinen silloista toimii, on toisen sillan toiminta estetty. Jotta välipiirin jännite pysyy halutulla alueella, tulee tyristorin syttymishetkeä säädellä jatkuvasti. Syötetty virta, jännite ja välipiirin jännite määräävät moottori- ja generaattorisillan valinnan. Välipiirin virtapiikit taas saadaan suodatettua tasavirtakuristimella. Kahden vastarinnankytketyn tyristorisillan tapauksessa voidaan tasajännite säätää pienemmäksi kuin verkossa, mitä voidaan joissain erikoissovelluksissa vaatia. [9]

### 5.1.2 Taajuusmuuttajakäyttöjen esimerkkikaaviot

Liitteenä A on esimerkkipääkaavio erään keskuksen kautta syötettävistä taajuusmuuttajakäytöistä. Pääkaavio, eli nousukaavio, määrittelee asiakkaan keskukseen haluamat lähdöt ja näissä lähdöissä käytettävät kojeet. Kyseistä pääkaaviota luetaan ylhäältä alaspäin alkaen pääkytkimestä, jota kaavion mukaan syöttää jakokeskus JK-3.1. Syöttö tulee kaaviossa kytkimelle oikealta vasemmalle viivan mukaan ja jatkuu alaspäin kojeille. Järjestelmän nolla ja suojamaadoitus tuodaan keskuksen N/PE-kiskolle, josta näitä jatketaan kojeille joko suoraan tai riviliittimien kautta. Kolminapaisen pääkytkimen piirrosmerkin läheisyyteen on tässä pääkaavioesimerkissä myös merkitty keskuksen nimellisvirta 63 A. Pääkytkimen jälkeiset lähdöt on merkitty numeroilla 7-13 ja 91-95.

Sähkön syöttö lähdöille tulee kaaviossa vasemman reunan kiskostosta, joka on piirretty kolmena paksuna viivana pystysuunnassa. Lähdöillä 7-13, 94 ja 95 kulkee syöttö ensin kolmivaiheisen johdonsuoja-automaatin läpi ja lähdöillä 91-93 yksivaiheisen johdonsuoja-automaatin läpi. Johdonsuoja-automaatin jälkeen syöttö jatkuu kontaktorille lähdöillä 7-13, 94 ja 95. Kontaktoria puolestaan ohjataan pääkaavion mukaisesti lähtöjen 7-13 ja 94 osalta kytkimellä, jossa on asennot 0-1 ja lähdön 95 osalta kytkimellä, jossa on asennot 1-0-A. Esimerkiksi lähdön 7 tuloilmapuhallin TK310TF01 voidaan kytkimen ja kontaktorin ohjauksella ajaa päälle tai pois päältä. Lisäksi näille lähdöille halutaan merkikilamput osoittamaan, onko puhallin päällä vai pois päältä.

Näiden tietojen lisäksi nähdään pääkaaviosta, että esimerkiksi syöttö tuloilmapuhaltimelle TK310TF01 kulkee vielä SC70:n kautta. Tällä tarkoitetaan taajuusmuuttajaa, joka on nimetty sähkösuunnitelmassa SC70:ksi. Edelleen nähdään, että lähtöä 7 syöttää MMJ-kaapeli, jossa on viisi 2,5 mm<sup>2</sup> paksua johdinta ja, että lähdön teho tulee olemaan 3,6 kW. Myös johdonsuoja-automaatin laukaisukäyrä C ja sulakekoko 20 A ovat merkittynä pääkaavioon. Ohjattujen lähtöjen 7-13, 94 ja 95 ohjausjännite puolestaan saadaan lähdöltä 91.

Liitteenä B on liitteen A esimerkkipääkaavion lähdön 7 esimerkkipiirikaavio. Piirikaavion vasemmassa reunassa on esitetty pääkaavion lähtö 7 yksityiskohtaisemmin. Kaavion vasemman yläkulman kiskoston vaiheilta L1, L2 ja L3 otetaan sähkön syöttö johdon-

suoja-automaatille 7F1 ja edelleen kontaktorille 7K1. Lopuksi syöttö viedään riviliitinpakan 7X1 riviliittimille 1, 2 ja 3. Riviliitinpakan 7X1 nolla- ja suojamaayhteys tuodaan keskuksen N/PE-kiskolta. Piirikaavion vasemmanpuoleinen alareuna on eristetty piste- viivoituksella. Tämä osa ei tule keskuksen sisään, vaan esimerkiksi taajuusmuuttaja TK310SC70 voi olla toisessa keskuksessa tai seinälle asennettuna. Ohjauskuvasta nähdään, että juuri taajuusmuuttajan teho ja syöttökaapeli ovat pääkaaviossa merkatut ja sähkösuunnittelijan mitoittamat 3,6 kW ja MMJ 5x2,5S. Taajuusmuuttajalta syöttö kulkee erillisen kytkimen läpi itse moottorille, eli puhaltimelle. Taajuusmuuttajalta ei kuvan mukaisesti lähde nollayhteyttä. Vaiheiden lisäksi suojamaayhteys on kuitenkin taajuusmuuttajalla ja moottorilla yhteinen.

Tuloilmapuhaltimen ja edelleen taajuusmuuttajan ohjaus on kuvattuna liitteen B piirikaavion oikeanpuoleiselle puolikkaalle. Ohjausjännite tuodaan johdonsuoja-automaatilta 91F1 ohjausriviliitinpakan 7X2 riviliittimelle 110, jolta on yhteys myös riviliittimille 111 ja 120. Riviliittimien 120 ja 121 välillä on keskuksen ulkopuolisen valvonta-alakeskuksen (VAK) ohjaus TZA42. Ohjausjännitteellä on tämän jälkeen yhteys kontaktorin 9K1 kärkien 43 ja 44 kautta riviliittimelle 122 ja edelleen kytkimelle 7S1. Ohjausjännite jakautuu kytkimen jälkeen kontaktorin 7K1 kärjelle 13 ja riviliittimelle 140. Kontaktorin 7K1 kärjen 14 kautta ohjausjännite johtuu lampulle 7H1 ja edelleen riviliittimelle 101 tai 100, joilla on yhteys järjestelmän nollaan. Ohjausjännite on yhteydessä järjestelmän nollaan myös kontaktorin kärkien A1 ja A2 kautta. Kontaktorin 7K1 kärjille A1 ja A2 tuodaan siis haluttu ohjausjännite, jolla taas ohjataan kontaktorin läpi kulkevaa päävirtaa.

## 5.2 Taajuusmuuttaja EMC-häiriölähteenä

Kennokeskukseen asennettava taajuusmuuttaja aiheuttaa EMC-häiriöitä luvussa 4 esitellyillä galvaanisella, induktiivisella tai kapasitiivisella kytkentymistavalla. Merkittävimmät EMC-häiriöt, taajuusmuuttajan toimiessa häiriölähteenä, ovat taajuusmuuttajan IGBT-transistorien kytkintoiminnan aiheuttamia säteileviä ja johtuvia radiotaajuisia häiriöitä. Yhden kytkimen toiminta ei keskustasolla vielä aiheuta huomattavia häiriöitä, mutta monen kytkimen sulkeutuminen ja avautuminen lyhyessä ajassa voi jo muodostaa etenevän, normaalista signaalista poikkeavan, siniaallon. Poikkeava siniaalto syntyy kytkintoimintojen nopeista virran ja jännitteen vaihteluista ja pitää sisällään muille laitteille haitallisia suuritaajuisia komponentteja. Säteilevien häiriöiden taajuus asettuu tasa- ja vaihtosuuntauksen jälkeen taajuusalueelle 150 kHz...20 MHz. [10, 11]

Taajuusmuuttajan aiheuttama johtuva radiotaajuinen häiriö vaikuttaa merkittävimmin taajuusmuuttajan syöttökaapelissa ja säteilevä radiotaajuinen häiriö taajuusmuuttajan ja moottorin välisessä kaapelissa. Samassa verkossa olevat laitteet altistuvat häiriöille, kun häiriöt johtuvat tai säteilevät syöttöverkkoon. Moottorikaapelin aiheuttamat häiriöt voivat toisaalta vaikuttaa laitteisiin ja niiden kaapeleihin jo häiriölähdekaapelista säteilemälläkin. [10]

Häiriöiden kapasitiivisessa kytkeytymisessä muodostuu taajuusmuuttajan ja moottorin väliseen kaapeliin suuren taajuuden ansiosta kapasitiivista vastusta, joka taas synnyttää kaapeliin kapasitiivisen häiriövirran. Taajuusmuuttajan sisältämän vaihtosuuntaajan kytkentätaajuus vaikuttaa huomattavimmin häiriövirran suuruuteen. Kapasitiivisesti moottorikaapeliin kytkeytyneeseen häiriön vastaanottajakaapeliin muodostuvan häiriövirran suuruus taas riippuu kaapeleiden välisestä etäisyydestä. [10]

Taajuusmuuttajan kanssa samassa verkossa ja yhteisessä maaimpedanssissa kytkettynä oleva laite on altis radiotaajuisten häiriön galvaaniselle kytkeytymiselle, sillä taajuusmuuttajan häiriöjännite pääsee yhteisen vaihe- ja maadoitusjohtimen välityksellä kytkeytymään vastaanottajaan. Induktiivista kytkeytymistä taas aiheuttaa virrallisen moottori- tai syöttökaapelin magneettikenttä, joka indusoi häiriöjännitteen muihin kaapeleihin. [10]

### 5.2.1 Taajuusmuuttajien käyttökelpoisuusluokitus

Standardi EN 61800-3 määrittelee luvussa 4.3 esiteltujen EMC-ympäristöjen lisäksi sähkökäytön käyttökelpoisuuden ja raja-arvot korkeiden taajuuksien häiriöpäästöille. Sähkökäyttöille on myös määritetty 1. ja 2. käyttöympäristö, mitkä vastaavat pääosin EMC-ympäristöjä A ja B. Sähkökäytön 1. käyttöympäristöön kuuluvat kotitaloudet ja muut tilat, jotka on kytketty yleiseen, kotitaloustarkoitukseen käytettäviä rakennuksia syöttävään, pienjänniteverkkoon ilman välimuuntajia. Näin ollen 2. käyttöympäristöön kuuluvat teollisuus ja muut 1. käyttöympäristöön kuulumattomat kohteet. Sähkökäytön käyttökelpoisuus taas on määritetty käyttöympäristöihin perustuvilla luokituksilla C1, C2, C3 ja C4. Käyttöympäristöjen välillä ei ole päällekkäisyyksiä kohteiden kannalta, eikä toisaalta mikään kohde voi olla kuulumatta kumpaankaan käyttöympäristöön. Vastaavasti käyttökelpoisuuden luokitukset ovat toisensa poissulkevia esimerkiksi taajuusmuuttajan valinnassa. Häiriöpäästöjen rajat ovat tiukimmat käyttökelpoisuusluokitukselle C1 ja raja-arvot kasvavat luokituksen vaihtuessa C1:stä C4:ään. Näin ollen häiriöpäästörajojen mukaan luokan C1 taajuusmuuttajaa voidaan käyttää missä tahansa ympäristössä immunitteettivaatimusten rajoissa, mutta jos vaatimukset häiriöpäästöille ovat alhaisemmat, ei ole kustannustehokasta käyttää tarvittavaa luokitusta parempaa taajuusmuuttajaa. Valmistajan määrittämä käyttökelpoisuuden luokitus taajuusmuuttajalle löytyy sen käyttöohjeesta. [12]

Luokkaan C1 kuuluu sähkökäyttö, ja näin ollen myös taajuusmuuttaja, jonka nimellisjännite on pienempi kuin 1000 V. Lisäksi sähkökäytön tulee olla määritetty käytettäväksi 1. käyttöympäristössä. Standardi ei velvoita erillistä sähkömagneettisen yhteensopivuuden osaamista C1-luokan taajuusmuuttajan tapauksessa ja asennuksessa riittääkin, että taajuusmuuttajan valmistajan ohjeita noudatetaan. Käyttöohjeita seuraamalla taajuusmuuttaja ei aiheuta kohtuutonta häiriötä muille laitteille, eikä se altistu liiallisille EMC-häiriöille. [12]

C2-luokan sähkökäytön nimellisjännite on C1-luokan tapaan alle 1000 V, mutta tämän lisäksi sähkökäyttö ei saa olla liikuteltava tai plug in -sähkökäyttö. Luokkaan C2 kuuluvat sähkökäytöt ovat pääosin 1. käyttöympäristössä käytettäviä laitteita, mutta luokituksen C2 laitteita käytetään myös joissakin teollisuusympäristöissä. Käyttöympäristöihin asennettavien C2-luokan sähkökäyttöjen asentajien ja käyttäjien tulee olla sähkömagneettisen yhteensopivuuden kannalta ammattilaisia. Lisähuomiona mainitaan, että kotitalousympäristössä luokan C2 sähkökäyttö voi aiheuttaa EMC-häiriöitä. Jos esimerkiksi 1. käyttöympäristöön asennettavan taajuusmuuttajan käyttöohjeessa on, luokituksen C2 lisäksi, maininnat vaadittavasta ammattilaisuudesta ja mahdollisista häiriöistä muille laitteille, siirtyy vastuu häiriösuojauksesta taajuusmuuttajan valmistajalta tilaajalle, sähkösuunnittelijalle ja asentajalle. Viime kädessä EMC-suojauksen varmistaminen voi jäädä keskusvalmistajan vastuulle. [12]

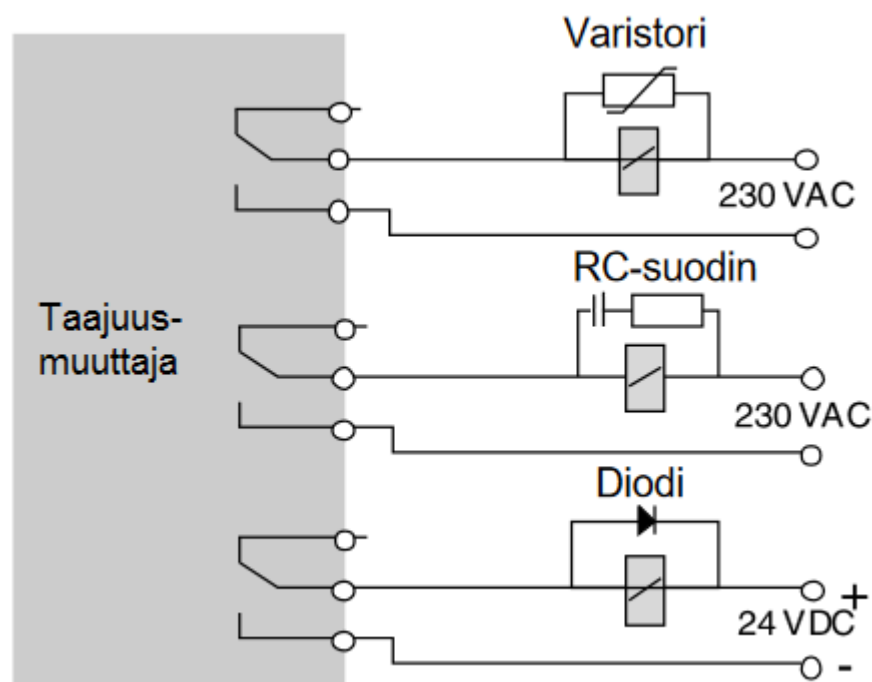
Kiinteistökohteissa ei voida käyttää luokan C3 ja C4 sähkökäyttöjä ja ne onkin rajoitettu 2. käyttöympäristöön. Luokan C3 sähkökäytön nimellisjännite on alle 1000 V kun taas C4-luokan sähkökäytöllä nimellisjännite on vähintään 1000 V ja virta vähintään 400 A. C4-luokkaan kuuluvat myös sellaiset sähkökäytöt, jotka muuten kuuluisivat luokkaan C3, mutta ne ovat osana 2. käyttöympäristön monimutkaista systeemiä. Asentamisen ammattilaisvaatimukset käyttökelpoisuusluokille C3 ja C4 ovat yhtenevät luokan C2 kanssa. Lisäksi vastuuvapaus valmistajan puolesta toimii luokille C3 ja C4 vastaavasti kuin luokalle C2, kunhan asianmukaiset maininnat käyttöohjeesta löytyvät. [12]

### 5.2.2 Taajuusmuuttajien häiriönpoisto

Kappaleessa 4.1 esitellyjä EMC-häiriöiden kytkeytymisiä voidaan estää erilaisilla keinoilla, kun taajuusmuuttaja asennetaan NorPower 5000 -kennokeskukseen. Taajuusmuuttajan johtuvia häiriöitä voidaan estää etenemästä muihin laitteisiin käyttämällä radiotaajuisten häiriöiden suotimia (RFI). Lisäksi nopeat vaihtelut jännitteessä eli kytkentätransientit voidaan vaimentaa releissä, venttiileissä ja kontaktoreissa. Johtuvia häiriöitä saadaan estettyä myös asentamalla teholiitântäkohtiin ferriittirenkaat. Säteilevä puoli, eli likainen puoli, virtapiiristä on erotettava metallisuojuilla ja -rakenteilla puhtaasta suotimen jälkeisestä puolesta. Kotelo, jossa on nopeussäädetyt käytön osia, tulee suunnitella niin, että lähtöliitântää seuraava piiri on kytkennän ainoa likainen osa. Näin ollen puhdas puoli piiristä pysyy puhtaana, sillä likainen piiri on Faradayn häkin sisällä. Pelkän kaapeloinnin avulla toteutetussa Faradayn häkissä tulee noudattaa tarkkaan EMC-kaapeloinnin ohjeita, joita tarkastellaan myöhemmin kappaleessa. Ohjauskomponenttien, kuten kontaktoreiden, käyttö sähkökäyttöjen osana tuo myös omia vaikeuksia puhtaan ja likaisen puolen erillään pitämiseen. Faradayn häkin toiminnan varmistaminen on hankalaa varsinkin, jos piirien kontaktoreilla suoritetaan ohitus puhtaalta puolelta likaiselle. [13]

RFI-suodatin vaimentaa häiriöitä sellaisessa verkkoliitântäkohdassa, joissa suodatin pysyy johtamaan EMC-häiriöt maahan. Suotimia tarvitaan varsinkin tilanteissa, joissa nopeussäädetty käyttö liitetään yleiseen pienjänniteverkkoon. Toisaalta myös teollisuudessa

RFI-suotimien käyttöä suositellaan, jos käytön lähellä on häiriöille alttiita kohteita. Kelluvissa verkoissa, joissa mitään verkon pistettä ei ole yhdistetty maahan, ei voida suotimia käyttää. Esimerkkinä kelluvasta verkosta on IT-verkko. RFI-suotimien käyttö on myös mahdotonta korkeaimpedanssisessa verkossa. Häiriölähteestä mitattuja häiriöitä ei voi suoraan verrata suotimen lisäämisen vaikutukseen, sillä mittausperusteet ovat tapauksissa erilaiset. Jotta voidaan varmistua riittävästä vaimennuksesta, tulee suodatin testata aina häiriölähteen kanssa. Suurtaajuisten ja pieni-impedanssisten liitäntöjen käyttövarmuus on myös tarkistettava suotimen toiminnan takaamiseksi. Näin ollen suodatin on asennettava metallilevylle, jolle on varattu maalaamattomat liitospaikat valmistajan ohjeiden mukaisesti. Jos suodatin on erillisessä kotelossa, tulee varmistaa suodatinkotelon ja käytön rungon välinen yhteys maalaamattomin liitoksien. Suodattimen lähtö- ja tulokaapelit on lisäksi erotettava toisistaan ja suotimen maadoituksessa tulee varsinkin kaapelin tyypin ja koon valinnassa noudattaa valmistajan ohjeita. Suotimen ja käytön välisen kaapelin pituus on oltava enimmillään valmistajan ohjeiden mukainen. Kuvassa 15 on koottuna erilaisia vaihtoehtoja taajuusmuuttajan häiriönpoistolle. Jännitetasossa 230 VAC voidaan käyttää joko varistorin tai RC-suodattimen mahdollistamaa RFI-suodatusta ja jännitetasossa 24 VDC diodia RFI-suodatuksessa. Kun suodatinta käytetään häiriönpoistoon, tulee releissä, kontaktoreissa ja magneettiventtiileissä olla kipinähäiriön poistimet. Nämä tarvitaan myös, jos ohjauskomponentit on asennettu taajuusmuuttajan sisältävän keskuksen ulkopuolelle. [13]

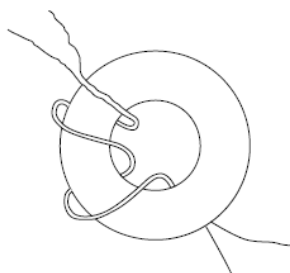


**Kuva 15.** Taajuusmuuttajan häiriönpoiston vaihtoehdot [13].

Ferriittirengasta käytetään kasvattamaan johtimien induktanssia sekä keskinäisinduktanssia, jolloin haluttua taajuutta korkeammat signaalihäiriöt pystytään vaimentamaan. In-

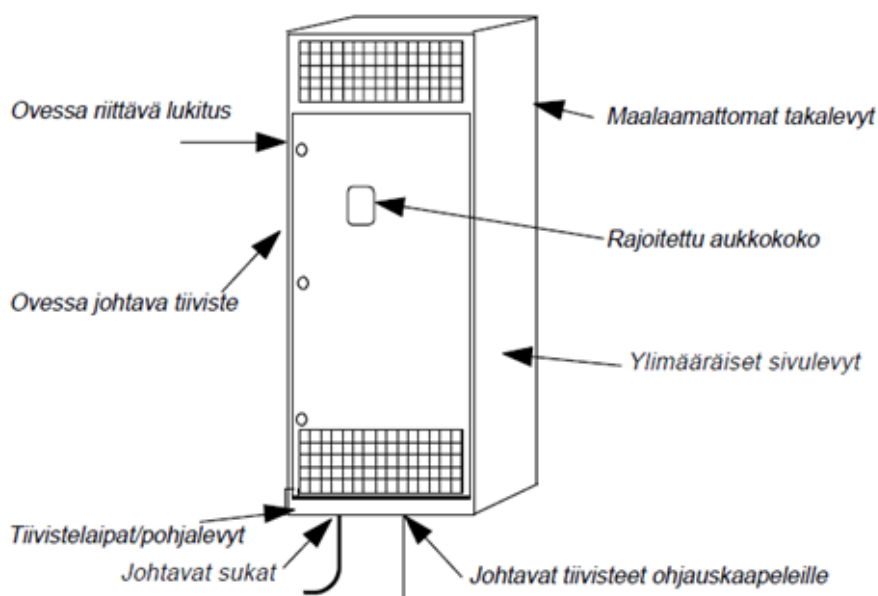


duktanssia kasvatetaan kiertämällä ohjausjohdinta useita kertoja renkaan ympärille. Renkaan tuottama yhtenäismuotoinen induktanssi voi kuitenkin väärin mitoitettuna vaimentaa myös eri ohjausten erillismuotoisia haluttuja signaaleja. Tehokaapeleiden tapauksessa tulee jokaisen vaiheen johdin viedä renkaan läpi. Suojakaapeli ja maadoitusjohdin on kuitenkin vedettävä renkaan ulkopuolelta, jotta suojausominaisuudet pysyvät ennallaan. Tehokaapeleiden induktanssia voidaan kasvattaa viemällä ne usean ferriittirenkaan läpi. Kuvassa 16 esitetään ohjauskaapelin vienti ferriittirenkaassa. [13]



**Kuva 16.** Ohjauskaapelin vienti ferriittirenkaassa [13].

Säteileville häiriöille, jotka useimmiten tuottavat eniten ongelmia, tulee muodostaa Faradayn häkki eli kotelo, joka muodostuu sähköä johtavasta materiaalista ja, jota staattinen sähkökenttä tai radiotaajuinen sähkömagneettinen säteily ei pysty läpäisemään. Kappaleen 4.2 kotelointiohjeiden mukaisesti varmistetaan Faradayn häkin toteutuminen, kun kaikki toisiensa kanssa kosketuksissa olevat kotelon pinnat ovat maalaamattomia ja syöpymisenkestäviä. Kuvassa 17 on esimerkkikuva Faradayn häkin toiminnan kannalta kriittisistä ulkoisen koteloinnin yksityiskohdista. [13]



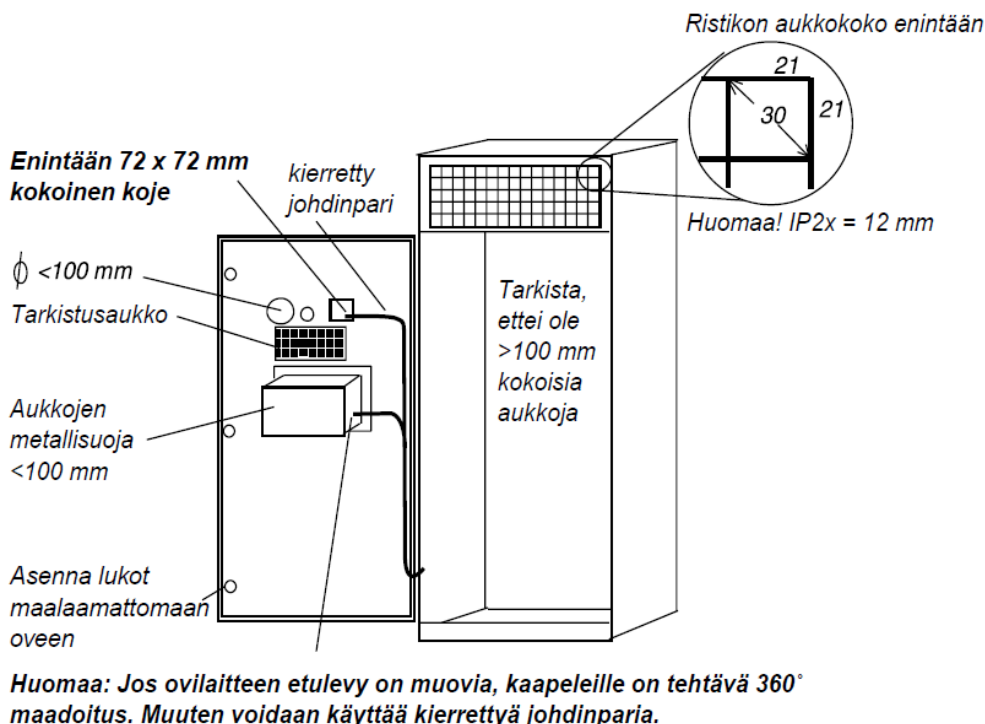
**Kuva 17.** Faradayn häkin muodostamisen ulkoiset kriittiset kohdat [13].

Kotelon metalliosien väliset kosketuspinnat on jätettävä maalaamatta ja tarvittaessa on käytettävä johtavia tiivisteitä, jos IP-luokitus vaatii tiiviimmän keskuksen. Myös oviin ja

muihin kosketussuojoihin on asennettava johtavat tiivisteet ja johtava suojaus on toteutettava näiden osalta joka kohdassa vähintään 100 mm:n välein, jotta säteilyvuodolta vältetään. Omissa on oltava lisäksi riittävästi lukitussalpoja maadoituksen riittävyyden varmistamiseksi. Kotelossa käytettäviä asennuslevyjä ei myöskään maalata ja ne on liitettävä samaan maadoituspisteeseen muiden metalliosien kanssa. Asennettaessa on myös varmistettava tiukat liitokset, jotta maayhteys varmasti toteutuu. Turhien aukkojen tekemistä koteloon on vältettävä. [13]

Vähimmäisvaatimuksena kotelon paksuudelle ja materiaalille on 0,75 mm ruostumatonta terästä. EMC-kotelon ulkopinta maalattuna tulee olla sähköstaattista jauhemaalia. Sisäpinnaltaan kotelo tulee olla maalamatonta, kuumasinkittyä ja kromattua terästä. Tuuletusrakoina saa olla teräsrungon rakoja, mutta tuuletusraon leveyden tulee olla 21 mm tai pienempi. Jos rako on suurempi, tulee sen olla RFI-pitävä. Kotelon kansilevyt toteutetaan vastakkaisilla metallipinnoilla, joista jokainen on maadoitettu. [13]

Kuvassa 18 on esitetty Faradayn häkin toiminnan kannalta huomioitavat kohdat sisäisessä koteloinnissa. Kuvaan 18 on myös lisätty tuuletusta varten asennettavien ristikkojen suurin aukkoko EMC-suojauksen kannalta. IP-luokka NorPower 5000 -kennokeskuksessa on kuitenkin sen verran korkea, ettei ristikkojen käyttö IP-luokan puitteissa ole mahdollista. [13]



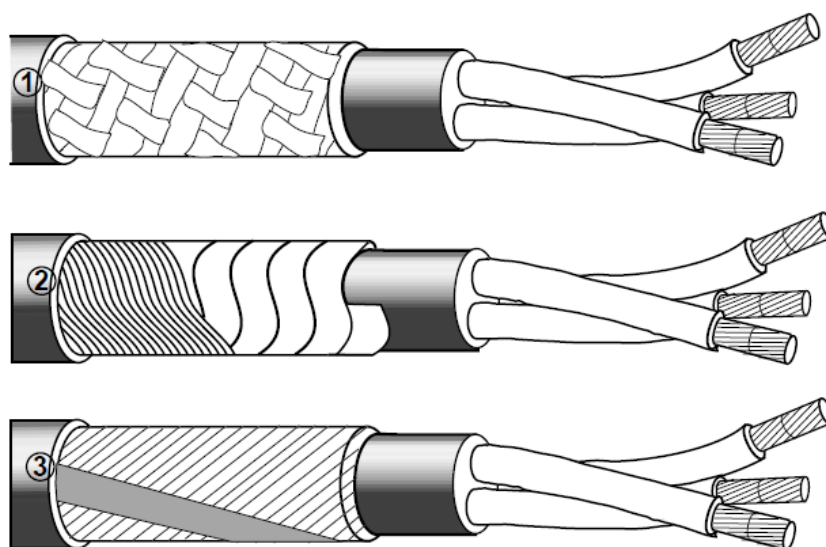
**Kuva 18.** Faradayn häkin muodostamisen sisäiset kriittiset kohdat [13].

Varsinaisten tuuletusaukkojen halkaisijan on oltava enintään 100 mm. EMC-testauksissa on havaittu, että suhde 1/10 tuuletusaukon halkaisijan ja häiriön aallonpituuden välillä

tuottaa riittävän suojauksen. Jos suurtaajuisia häiriöitä ympäristössä epäillään ja asennusaukkoon asennettavan laitteen vaatiman aukon halkaisija on välillä 30...100 mm, on parasta käyttää asennusaukoissa metallirunkoisia laitteita. Lisäksi laitteen vaatima aukko on ympäröitävä luvun 4.2.2 mukaisesti erillisellä johtavalla metallisuojuksella. [13]

### 5.2.3 Häiriönpoisto kaapeloinnissa

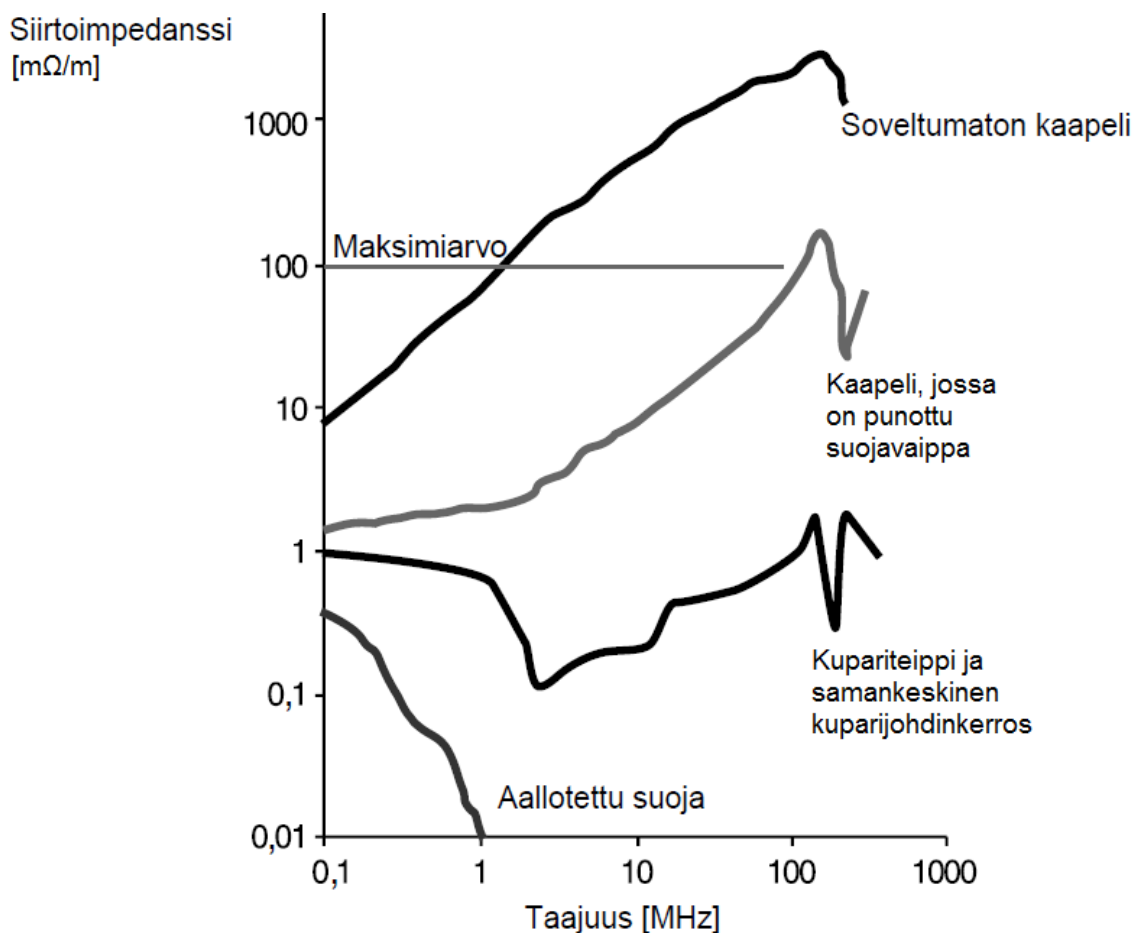
Kaapeloinnissa tulee tehokaapeleiden suojavaippojen maadoitukseen käyttää suurtaajuisia kaapeleiden läpivientejä. Ohjauskaapeleiden suojavaippojen suurtaajuusmaadoituksessa tulee käyttää johtavia tiivisteitä, esimerkiksi EMC-tiivistelaippoja. Lisäksi on suositeltua käyttää EMC-suojattuja teho- ja ohjauskaapeleita. Parhaan suojauksen edellytyksenä on, että teho- ja ohjauskaapelit sijoitetaan erilleen. Yhteismuotoisia häiriöitä pystytään estämään käyttämällä kierrettyjä johdinpareja tai tällaisten häiriöiden esiintyessä voidaan käyttää johtimilla ferriittirenkaita. EMC-suojaus tehokaapeleilla on tehokas, kun suojauksen johtavuus on hyvä ja suojaus peittää suurimman osan kaapelin pinnasta. Kaapelin suojavaipan toimiessa suojaavana maadoituksena, tulee suojan poikkipinta-alan tai vastaavan johtavuuden olla vähintään puolet vaihejohtimen poikkipinta-alasta tai johtavuudesta. Keskukseen asennettavien laitteiden ja komponenttien käyttöohjeissa on suosituksia asennuksessa käytettävistä kaapelityypeistä. Vaadittavia syöttö- ja moottorikaapeleita ei kuitenkaan aina ole saatavilla, sillä eri valmistajilla on kaapeleissaan yleensä erilaiset suojavaipat. Kuvaan 19 on koottu kolme mahdollisuutta kaapelin suojavaipalle. [13]



**Kuva 19.** Kaapelin suojavaipan valmistustavat: 1) Punottu suojavaippa, 2) Kupari-teippi ja samankeskinen kuparijohdinkerros, 3) Samankeskinen kuparijohdinkerros ja kierretty kupariteippi [13].

Kuvan 19 kohdassa 1 on galvanoidusta teräksestä tai tinatusta kuparista valmistettu kaapeli, jossa on punottu suojavaippa. Kohdassa 2 on kaapelin suojavaippa toteutettu kupari-

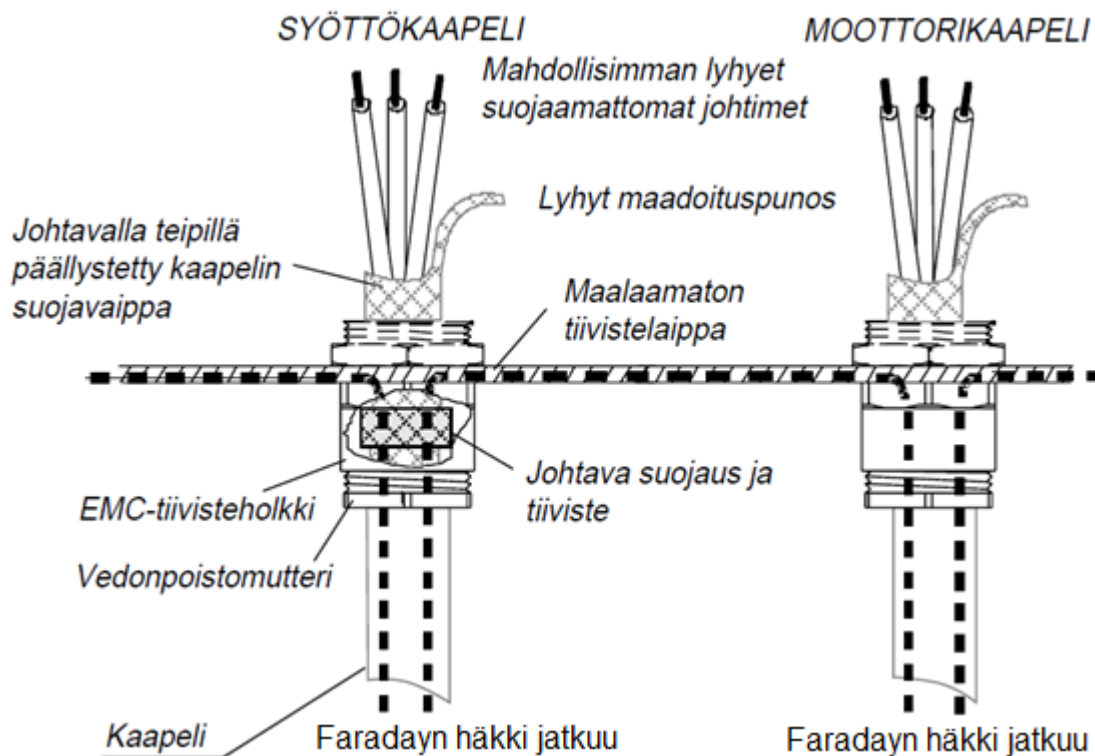
riteipillä ja samankeskeisellä kuparijohdinkerroksella. Kohdassa 3 puolestaan suojavaip-  
pana toimii samankeskinen kuparijohdinkerros ja kierretty kupariteippi. Eri valmistajien  
kaapeleita voidaan soveltuvuuden kannalta vertailla siirtoimpedanssin avulla, sillä siir-  
toimpedanssi määrää kaapelin suojauksen tehokkuuden. Siirtoimpedanssilla on suurin  
merkitys tiedonsiirtokaapeleissa. Kuva 20 on hyvä esimerkki kaapeleiden vertailusta siir-  
toimpedanssin avulla. [13]



**Kuva 20.** Tehokaapeleiden siirtoimpedanssi taajuuden funktiona [13].

Häiriösäteilylle asetetut vaatimukset täyttyvät, kun alle 100 MHz taajuusalueella kaapelin siirtoimpedanssi on pienempi kuin 100 mΩ/m. Mitä pidempi kaapeli on kyseessä, sitä pienempi siirtoimpedanssi kaapelilta vaaditaan. Kaapelin ympärille asennettavalla alumiinisella aaltosuojalla tai metallisuojalla päästään huomattavasti tehokkaampaan suojaukseen, mutta myös kustannukset näille ovat huomattavat. Kaikkialla, missä kaapelit liitetään käytön tai käytön osan koteloon, tulisi toteuttaa 360 ° suurtaajuusmaadoitus. Hal-  
kaisijaltaan alle 50 mm tehokaapeleilla voidaan käyttää erikseen tähän tarkoitukseen suunniteltuja tiivisteholkkeja. Ohjauskaapeleiden tapauksessa ei tavallisesti käytetä tiivisteholkkeja, koska tiivisteholkin ja ohjausliitäntään etäisyys on yleensä liian suuri suurtaajuusmaadoituksen luotettavuutta ajatellen. Jos ohjauskaapelit holkitetaan, tulee kaapelin oman suojavaipan jatkua mahdollisimman lähelle ohjausliitäntää. Suojavaippa maa-

doittuu oikein tiivisteholkin tiivisteiden kohdalta, kun pelkästään kaapelin uloimpaa eristystä poistetaan suojavaippaa tuotaessa esille. Näiden toimenpiteiden lisäksi paras suurtaajuusmaadoitus mahdollistetaan, kun kaapelin suojavaippa päällystetään johtavalla teipillä. Myös teipin liiman on oltava johtavaa ja teipin tulee ympäröidä suojavaipan pinta tai maadoituspunos kokonaan tiiviisti. Kuvassa 21 on EMC-suojauksen kannalta kriittisimmät kohdat Faradayn häkistä lähteville tehokaapeleille. [13]

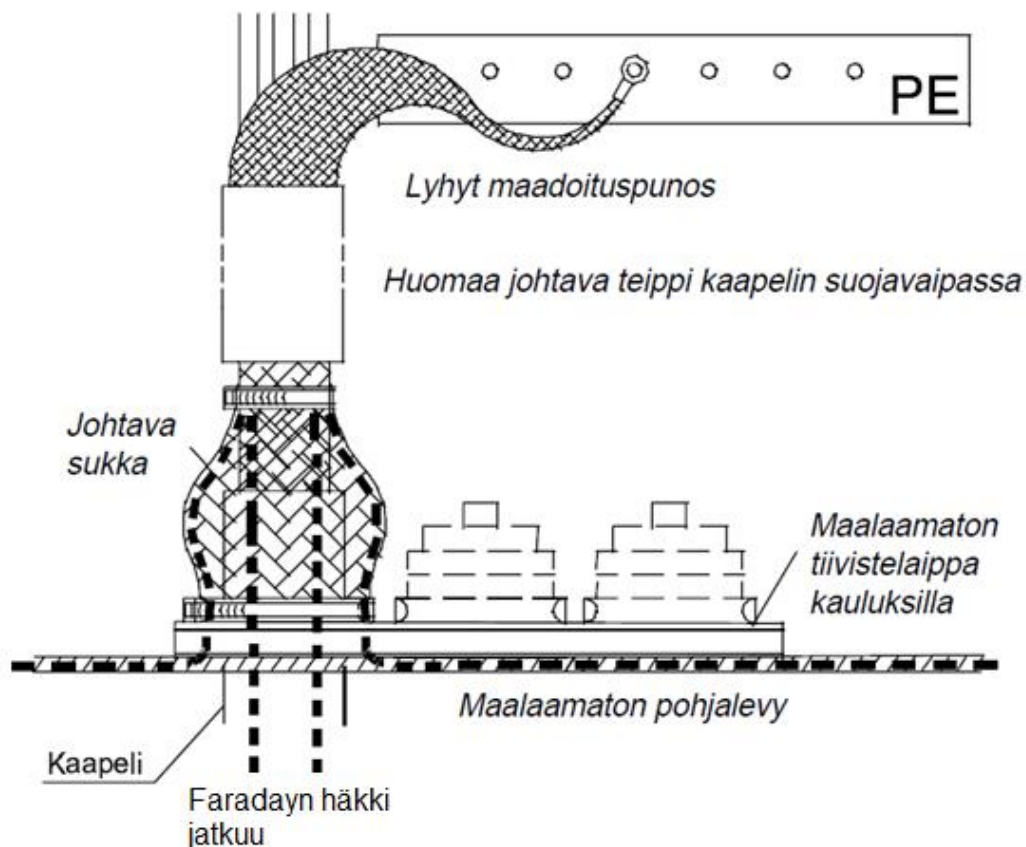


**Kuva 21.** Kennokeskuksen tehokaapeleiden läpivientien EMC-suojauksen kriittisimmät kohdat [13].

Kun tehokaapeleita viedään Faradayn häkistä, voidaan 360 ° suurtaajuusmaadoitus toteuttaa myös johtavalla sukalla kaapelin suojavaipan ympärillä. Sukka kiristetään Faradayn häkin EMC-tiivistelaipan kauluskappaleeseen ja liitetään lyhyellä maadoituspunoksella maadoitukseen. Kuvassa 22 on esitetty johtavan sukan käyttö suurtaajuusmaadoitukseen tehokaapeleiden läpivienneissä. Johtavan sukan käytön etuna on, että samanlaista sukkaa voidaan käyttää halkaisijaltaan monen erilaisen tehokaapelin tapauksessa. EMC-tiivistelaipan kiristimet toimivat kaapelin mekaanisina tukina, jolloin erillisiä tiivisteholkkeja ei tarvita. [13]

Ohjauskaapeleiden 360 ° suurtaajuusmaadoitus voidaan varmistaa johtavilla tiivisteillä. EMC-suojattu ohjauskaapeli johdetaan tässä tapauksessa kahden tiivisteiden läpi tiukasti yhteen puristettuna. Tiivisteen ollessa kiinnitettynä EMC-tiivistelaippaan, tulee kaapelin suojavaipan jatkua mahdollisimman lähelle ohjausliitäntöjä, vastaavasti kuin tiivisteholkkeja käytettäessä. Johtavia tiivisteitä käytettäessä on edelleen kaapelin uloimpaa eris-

tystä poistettava, jotta suojavaippaan saadaan tiivisteiden pituinen kosketuspinta. Suoja-vaippa on myös ympäröitävä tiiviisti johtavalla teipillä. Suurtaajuusmaadoituksen kan-  
nalta paras tilanne saavutetaan, kun tiiviste on kiinnitetty mahdollisimman lähelle ohjaus-  
liitäntää sekä kiinnitetty EMC-tiivistelaippaan siten, että tiiviste on yhteydessä laipan  
maadoitettuun ja maalaamattomaan pintaan. [13]



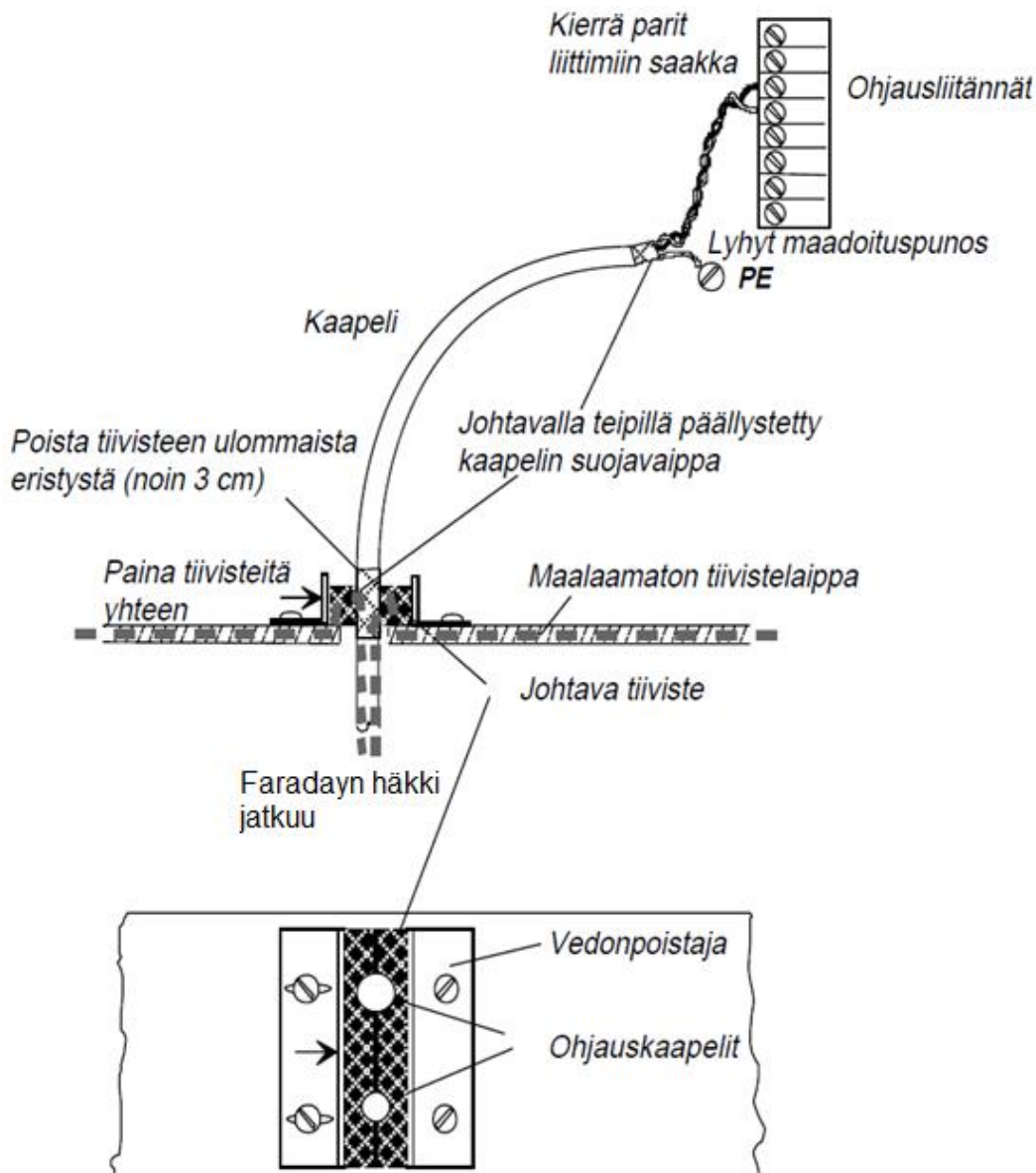
**Kuva 22.** 360 ° maadoitus johtavalla sukalla [13].

Aina kun mahdollista, on pyrittävä käyttämään suojattuja kierretyn parin johtimia. Ana-  
logisia signaaleja varten on käytettävä kaksoissuojattua kaapelia ja muita signaaleja var-  
ten yksittäissuojattua kaapelia. Laitteiden käyttöohjeissa kuitenkin yleensä suositellaan  
kaksoissuojatun kaapelin käyttöä kaikessa ohjauskaapeloinnissa. Lisäksi tulee varata yksi  
parikierretty ohjauskaapeli jokaiselle signaalille. 110 V ja 230 V -signaaleja ei saa ohjata  
samoihin kaapeleihin alemman jännitetaso signaalien kanssa. Kaikkien liitäntäpunosten  
tulee olla mahdollisimman lyhyitä ja suojavaippa on maadoitettava lyhyellä maadoitus-  
punoksella maadoituksen liitäntäpäähän. [13]

Maadoituksen tulisi ohjauskaapeleiden tapauksessa tapahtua suoraan taajuusmuuttajan  
puolelle. Jos valitun laitteen käyttöohjeessa neuvotaan maadoittamaan vain kaapelin toi-  
nen pää, tulee tällöin maadoittaa häiriönsiedoltaan herkemman laitteen sisäiset suojat ja  
kaapelin ulkoinen suoja toisessa päässä. Johtavia tiivisteitä varten on EMC-tiivistelaip-  
paan varattava yleensä aukko kooltaan 200 · 50 mm. EMC-suojauksen asennusperiaattei-



den mukaan moottori- ja syöttökaapelin välinen etäisyys tulisi olla yli 30 cm, moottori-kaapelin ja ohjauskaapeleiden välinen etäisyys yli 50 cm sekä syöttökaapelin ja ohjauskaapeleiden välinen etäisyys yli 20 cm. Kuvassa 23 on kuvattu ohjauskaapeleiden tuonti keskukseen siten, että Faradayn häkin jatkuvuus varmistuu. [13]



**Kuva 23.** Ohjauskaapeloinnin EMC-suojauksen kriittisimmät kohdat [13].

EMC-kotelon sisäisessä kaapeloinnissa tulee kiinnittää huomiota puhtaan ja likaisen puolen kaapeleiden erillään pitämiseen. Jos taajuusmuuttaja on varustettu suotimella ja suodatinta ei ole poistettu käytöstä, ei taajuusmuuttajan sisäisessä johdotuksessa tarvita suojalla varustettuja kaapeleita. Tällainen kaapelointi on esimerkiksi kontaktorilta taajuusmuuttajan tuloliitántään tapahtuva kaapelointi. Vaikka suojalla varustettuja kaapeleita ei tässä tapauksessa tarvittaisikaan, voidaan silti tilanteen mukaan tarvita ferriittirenkaita tuloliitännän puolella. Sisäisessä johdotuksessa tulisi aina käyttää kierrettyjä johdinpareja

ja signaalitason lähdöillä sekä kotelon ulostulon paluujohtimilla suojattuja, kierrettyjä johdinpareja. Signaalityypiltään erilaiset parit, esimerkiksi 230 VAC ja 24 VDC jännite-  
tasoiset sekä analogisia ja digitaalisia signaaleja kuljettavat parit tulee pitää erillään. Edellä mainittiin, että kaapeloinnin tulee kulkea johtavaa metallia pitkin. Sisäinen kaapelointi pitää siis toteuttaa siten, että kaapelit eivät nouse irti metallista ilmassa roikkumaan, sillä silloin ne voivat toimia antennina. Käytettävien signaalien tulee olla galvaanisesti eristettyjä. Lyhyiden maadoituspunosten lisäksi tulee johtimina käyttää lattajohtimia, säikeisiä tai punottuja johtimia, jotta radiotaajuinen impedanssi jää mahdollisimman pieneksi. [13]

Myös valittujen laitteiden lisälaitteiden tulee olla EMC-suojattuja. Faradayn häkin toiminnan kannalta tulisikin aina pyrkiä käyttämään metallikoteloituja lisälaitteita. Kun käytetään lisälaitteita, jotka muodostavat sillan puhtaan ja likaisen puolen välille sekä voivat häiriintyä, on toimittava EMC-suojauksen kannalta tarkasti. Avoimia laitteita sähkökeskuksessa ovat yleisesti kontaktorit, varokekytkimet ja sulakkeet. Näitä komponentteja ei voida asentaa puhtaalle puolelle ilman asianmukaisia suojaavia metallilevyjä. Lisälaitteiden ja avoimien laitteiden vaatimien aukkojen suojauksessa on myös noudatettava EMC-kotelon aukkojen suojausperiaatteita. [13]



## 6. LÄMPENEMÄN HALLINTAAN SOVELTUVAT OHJELMISTOT

Norelco ostaa kennokeskuksiin asentamansa komponentit alihankkijoilta sekä komponenttivalmistajilta. Hankittujen komponenttien tulee olla luotettavia sekä niistä on saatava tarpeelliset tiedot esimerkiksi lämpöhäviöitä arvioidessa. Kuten edellä on mainittu, saadaan komponenttien käyttöohjeista arviot niiden lämpöhäviöille. Osa komponenttivalmistajista sekä yrityksistä, jotka toimittavat jäähdytys- ja lämmityslaitteistoa, tarjoavat kuitenkin verkkosivuillaan myös koko sähkökojeiston lämpenemää ja jäähdytys- tai lämmitystarvetta käyttäjälle arvioivia ohjelmistoja. Näiden ohjelmistojen tarkoitus on helpottaa käyttäjää asennuksissa, mutta myös suositella palvelun tarjoavan yrityksen tai alihankkijan myymiä tuotteita jäähdytys- ja lämmitysongelmien ratkaisuun.

Tunnettujen komponenttivalmistajien kuten Schneider Electricin, Siemensin ja ABB:n kojeistojen lämpenemän arviointiin tarkoitettuja ohjelmistoja on saatavilla vapaaseen käyttöön yritysten verkkosivuilta. Myös kojeistojen jäähdytykseen ja lämmitykseen erikoistunut Rittal on laatinut oman ohjelmistonsa, jolla voi yrityksen omien kotelokeskusten lisäksi arvioida koteloita, jotka käyttäjä voi vapaasti määrittää. Tässä luvussa käsiteltävien neljän ohjelmiston lisäksi löytyy monen pienemmän valmistajan verkkosivuilta erilaisia verkkosivulla käytettäviä ohjelmia. Hoffmanin Pentair, Elmekon Delta T ja El-donin Thermal Management Tool ovat esimerkkejä tällaisista kevyemmistä ohjelmista. Nämä ohjelmat tarjoavat kuitenkin esimerkiksi kotelovalintoina vain ohjelman omistavan yrityksen koteloita, joten niiden käyttö edellyttää tarkkaa vertailua Norelcolla valmistettavien koteloiden ja valittavien koteloiden välillä. Tällaisen vertailun päätteeksi ohjelman laskelmiin voisi jossain määrin luottaa, mutta vertailu ilman tarkkoja tietoja ohjelmassa valittavista koteloista on mahdotonta.

### 6.1 Schneider Electric: ProClima

Schneider Electricin ProClima-ohjelmisto käsittelee monipuolisesti ja tarkasti keskuksen lämpenemää ja antaa ehdotuksen oikeanlaisesta lämpenemän hallinnasta asennusympäristöä ja asennettavia komponentteja ajatellen. ProClima-ohjelmisto ottaa huomioon lämpötilan, kosteuden sekä auringon säteilyn ja sen asetuksia voidaan muuttaa sisä- tai ulkoasennuksille sopivaksi. Ohjelma piirtää toimintansa päätteeksi lämpenemäkäyrän ja määrittelee käyttäjälle ilmanvaihdon ja sen ohjauksen, lämmityksen sekä jäähdytyksen, jotka vastaavat keskukseen asennettujen komponenttien määreitä. Ohjelmisto on suunniteltu yli- ja alimitoituksen estämiseen ja se on saatavilla veloituksetta Schneider Electricin verkkosivuilta. [14]

Jotta ProClima-ohjelmisto voi laskea käyttäjälle lämpenemän sekä tuuletustarpeen, tarvitsee se alkutietoja asennuksesta. Käyttäjän tulee syöttää ohjelmaan keskuksen tai kotelon korkeus, leveys ja syvyys sekä tieto siitä, onko keskus seinälle vai maahan asennettavaksi tarkoitettu. Ohjelmisto löytää Schneider Electricin valmistamien koteloiden tiedot referenssinumerolla, mutta muiden keskusten tiedot pitää ohjelmistolle antaa. Lisäksi ohjelmisto tarvitsee tiedon kotelon materiaalista, joka käyttöohjeen esimerkissä on maalattu teräslevy. Muut materiaalivehtoehdot ovat polyesteri ja ruostumaton teräs. Ohjelmisto laskee materiaalin perusteella kertoimen lopullisia laskutoimituksia varten. [14]

Ohjelmistolle pitää myös arvioida keskuksen tai koteloon asennettavien komponenttien lämpöhäviö, jolle arvo saadaan laskemalla yhteen komponenttien käyttöohjeista ilmenevät lämpöhäviöt. ProClima voi myös itse laskea käyttäjälle komponenttien lämpöhäviön, mutta tämän se tekee vain Schneider Electricin tuotteille referenssinumerojen avulla. Asennusympäristön suhteen ProClima tarvitsee tiedon keskuksen korkeimmasta ja matalimmasta lämpöhäviöstä sekä korkeimmasta ja matalimmasta halutusta lämpötilasta keskuksen sisällä. Asennusympäristön korkeus merenpinnasta tulee myös kertoa ohjelmistolle, sillä se käyttää laskentaan eri kerrointa eri korkeuksille. Käyttäjän tulee näiden tietojen lisäksi arvioida ilman saasteisuus ja pölyisyys asteikolla matalasta korkeaan. [14]

Järjestelmän lämpenemän  $P_{syst}$  ProClima-ohjelmisto laskee kaavalla (3). Koteloon asennettujen komponenttien ja kiskostojen yhteenlaskettu lämpöhäviö on  $P_d$ ,  $T_{s,max}$  on korkein haluttu lämpötila kotelon sisällä ja  $T_{e,max}$  on kotelon korkein lämpötila. Kertoimen  $K_1$  ohjelmisto määrittää käyttäjän valitseman kotelomateriaalin mukaan. Kertoimen  $S$  ohjelmisto laskee kotelosta annettujen mittatietojen, eli korkeuden, leveyden ja syvyyden, avulla standardien mukaisesti. [14]

$$P_{syst} = P_d - K_1 \cdot S \cdot (T_{s,max} - T_{e,max}) \quad (3)$$

Järjestelmän tarvitseman ilmanvaihtotehon  $P_{flow}$  ohjelmisto laskee kaavalla (4). Kerroin  $f$  riippuu asennuspaikan korkeudesta merenpinnasta, jonka käyttäjä ohjelmistolle syöttää.

$$P_{flow} = f_1 \cdot P_{syst} / (T_{s,max} - T_{e,max}) \quad (4)$$

Kertoimet  $K_1$ ,  $S$  ja  $f_1$  sekä näiden laskemiseen käytettävät yhtälöt ovat ohjelmaan määritettynä niin, että käyttäjä saa tiedon keskuksensa lämpenemästä yksikössä W ja ilmanvaihdon tarpeen yksikössä m<sup>3</sup>/h. Jos epäillään, että keskukselle täytyy järjestää jonkinlainen lämmitys, vaihtuvat arvot  $T_{s,max}$  ja  $T_{e,max}$  arvoihin  $T_{s,min}$  ja  $T_{e,min}$ . Matalin haluttu lämpötila kotelon sisällä on  $T_{s,min}$  ja kotelon matalin lämpötila on  $T_{e,min}$ .

## 6.2 Rittal: Therm

Rittalin Therm-ohjelmisto laskee käyttäjälle keskuksen lämpöhäviön ja pinnan, jonka kautta häviö tapahtuu. Laskutoimituksia varten Therm-ohjelmisto tarvitsee käyttäjältä

asennettavan keskuksen ulko- ja sisälämpötilan sekä sähkövoimajärjestelmän jännitteen ja taajuuden. Kotelon ja keskuksen mitat, asennustapa ja komponenttien lämpöhäviöt on myös syötettävä niille varattuihin kenttiin. Näiden mukaan ohjelmisto määrittelee sopivat valinnat lämpenemän hallinnalle, kuten tuulettimille, ilmanvaihdolle, jäähdytysjärjestelmälle ja lämmitykselle. Käyttäjä voi milloin vain laskennan aikana muokata syöttämiään tietoja. Ohjelmisto ottaa myös huomioon käytettävän kotelon ja mahdollisten lämpenemän hallintaan kykenevien laitteiden geometrian ja suosittelee vain haluttuun koteloon sopivia laitteita Rittalin valikoimasta. Käyttäjä voi lisäksi syöttää ohjelmistolle haluamansa alimman lämpötilan keskuksen lämmitystä varten tai valita onko keskus altis auringon lämpösäteilylle. Myös Rittalin Therm-ohjelmiston saa Rittalin verkkosivuilta ladattua veloitusetta. [15]

Keskukseen tai koteloon asennettavien komponenttien lämpöhäviöt voidaan ohjelmistossa täyttää erilliseen komponenttilistaan. Komponenttilistat taas järjestellään hierarkisesti niin, että ensimmäisellä tasolla on määritelty komponentin valmistaja, toisella tasolla komponentin tyyppi ja kolmannella tasolla yksittäisten komponenttien lämpöhäviöt. Lämpöhäviön laskentaa varten täytetyt komponenttilistat eri valmistajien osalta voidaan ohjelmiston avulla tallentaa käytettäväksi kaikissa käyttäjän projekteissa. Therm-ohjelmistossa voi lisäksi tallentaa erilaisten kiskostojen mittatiedot ja käytettävät nimellisvirrat, jotta niiden aiheuttamat lämpöhäviöt saadaan arviointiin mukaan. [15]

Kotelon lämpöhäviötä sekä ilmanvaihto- ja lämmitystarvetta laskiessa tulee ohjelmistolle ilmoittaa, onko kotelo asennustilassa vapaana kaikilta sivuilta, usean vierekkäisen kotelon viimeinen, ensimmäinen vai keskimmäinen ja, onko kotelo upotettu seinään niin, että kotelon katto on peitettynä. Ohjelmistolle tulee myös määritellä, onko kotelo tarkoitettu asennettavaksi seinälle vai lattialle. Eri kotelotyypeille voidaan näin antaa mitat ja asennustapa sekä tallentaa nämä ohjelmiston avulla myöhemmää käyttöä varten. Samanlaisista kotelotyypeistä koostuva keskus voidaan ohjelmistossa koota ja tallentaa käyttämällä kotelotyyppin tietoja. Valmiita koteloyhdistelmiä käyttämällä käyttäjän ei tarvitse erikseen laskea keskuksen jokaiselle kotelolle lämpöhäviötä. Kotelotyypeistä keskusta kasattaessa tulee kuitenkin aina valita oikein keskuksen päätykotelot sekä näiden väliin jäävät kotelot annettujen positiodien mukaan, jotta ohjelmisto osaa muodostaa keskuksen oikein. [15]

Jos ohjelmisto havaitsee laskennan päätteeksi, että keskus tai kotelo ei tarvitse erillistä jäähdytystä tai lämmitystä, ei käyttäjälle myöskään anneta tällaisia vaihtoehtoja. Jos asennusympäristön korkein lämpötila on korkeampi kuin keskuksen korkein haluttu lämpötila, ei tuulettimen kautta kulkeva ilma pysty keskusta jäähdyttämään. Näin ollen Therm-ohjelmisto suosittelee tuulettimia vain, kun keskuksen korkein haluttu lämpötila on ympäristön korkeinta lämpötilaa korkeampi. Lämmitystä ohjelmisto suosittelee, kun keskuksen matalin haluttu lämpötila on korkeampi kuin asennusympäristön korkein lämpötila. Kun keskukselle on valittu sopiva tuuletin tai lämmitin suositusten perusteella, tarjoaa

ohjelma automaattisesti myös vain valitun tuulettimen tai lämmittimen kanssa yhteensopivat lisävarusteet. Halutessaan käyttäjä voi tulostaa itselleen standardin SFS-EN 61439 mukaisen todistuksen keskuksen lämpenemästä. [15]

### 6.3 Siemens: SIMARIS therm

Siemensin SIMARIS-ohjelmisto käsittää monia sähkösuunnittelun tueksi suunniteltuja ohjelmia. Näistä ohjelmista SIMARIS therm -ohjelma soveltuu erilaisten kojeistojen lämpenemän arviointiin. SIMARIS-ohjelmisto on ollut käytössä jo standardin SFS-EN 60439 aikana ja ohjelmistoa on siirryttäessä standardiin SFS-EN 61439 päivitetty vastaamaan uusia vaatimuksia. Veloitukseton SIMARIS therm -ohjelma on Siemensin mukaan suunniteltu sähköasentajien ja kojeistovalmistajien käyttöön. Tarkoituksena tälläkin ohjelmalla on estää asennusten yli- ja alimitoitus sekä auttaa lämpöhäviöiden havainnoinnissa. [16]

SIMARIS therm -ohjelma tarvitsee käyttäjältä edellä läpikäytyjen ohjelmistojen tapaan alkutietoja asennusympäristöstä, asennustavasta, kotelosta, komponenteista ja kiskostoista. Ohjelmaan voidaan tuoda tietoja komponenteista tai käyttäjä voi valita ohjelmaan jo tallennetusta 20 000 todennetusta lämpenemän maksimiarvosta. Nämä arvot on kuitenkin määritelty vain Siemensin komponenteille. Jos näitä arvoja pystytään käyttämään, tarkoittaa niiden esitestaus sitä, että arvot ovat luotettavia ja varmasti paikkansapitäviä. Ohjelmaan on valmiiksi tallennettuna myös erilaisia kotelotyyppejä, joista käyttäjä voi valita haluamansa. Kotelotyyppejä, kuten komponenttejakin, voi myös itse tehdä ja tallentaa ohjelmaan. [16]

Käyttäjän syöttämien tietojen perusteella ohjelma laskee lämpöhäviön edellisten ohjelmien tapaan. Tämän lisäksi SIMARIS therm -ohjelma arvioi valitun tai muodostetun kotelon kyvyn poistaa kyseinen lämpöhäviö. Lämmön poiston arviointiin ohjelma tarvitsee kuitenkin käyttäjältä arvon kotelon lämmönpoistokyvylle joko kertoimena yksikössä  $W/m^2$  tai arvona yksikössä W. Jos kotelo ei pysty laskettua lämpöhäviötä poistamaan, ehdottaa ohjelma korjaavia toimenpiteitä, kuten suuremman kotelon valintaa, laitteiden ylimitoitusta tai ilmanvaihdon lisäämistä. Ilmanvaihdon lisäämiseen ohjelma tarjoaa Siemensin tuulettimia, ja nämä voidaan lisätä ohjelmassa suoraan valittuun koteloon, jotta nähdään niiden vaikutus lämpenemään. Lämmityksen lisäystarpeen ohjelma laskee kotelon lämmönpoistokyvyn, pinta-alan ja lämpötilaeron avulla sekä suosittelee tämän jälkeen lisättävät lämmityselementit. [17]

Laskennan tarkkuutta parantamaan on ohjelmaan lisätty kohdat kaapeloinnin kertoimelle sekä kertoimelle RDF. Kaapeloinnin kerroin annetaan ohjelmalle prosentteina ja esimerkiksi jakokeskukselle riittävä kaapeloinnin arvo on 30 %. Tämän kertoimen avulla voidaan ottaa huomioon esimerkiksi ohjauskomponenttien lämpenemä, jota on muuten hankala arvioida ilman monimutkaisia laskelmia. Kerroin RDF taas kuvaa kotelon läpi kul-

kevaa osuutta nimellisvirrasta. Kertoimen RDF arvo on ohjelmassa valmiiksi 80 % nimellisvirrasta, mutta tämän oikein arviointi jää kojeistovalmistajan vastuulle. Laskennan päätteeksi käyttäjä voi tulostaa listan käytetyistä komponenteista sekä standardien mukaisen todistuksen kojeistonsa lämpenemästä. [17]

## 6.4 ABB: OTC

ABB:n OTC -ohjelmisto laskee käyttäjälle kotelon lämpenemän sekä mitoittaa tarvittavan jäähdytyslaitteiston. OTC -ohjelmisto pystyy laskemaan ilman lämpötilan ja mahdollisen ylitämmön kotelon sisällä, mutta se ei voi määrittää yksittäisten komponenttien tai kaapeleiden lämpötiloja. Ohjelmisto olettaa, että kotelon sisäinen lämpötila on laskennan aluksi sama kuin koteloa ympäröivän ilman lämpötila. Näin ollen ylitämpö johtuu kokonaan asennettujen komponenttien ja kiskostojen lämpöhäviöstä, joiden mukaan jäähdytyslaitteisto mitoitetaan. Laskennassa ohjelmisto olettaa myös komponenttien ja kiskostojen poistavan lämpöhäviönsä tasaisesti ja komponenttien olevan asennettuna keskukseen niin, etteivät ne häiritse ilman kiertoa kotelossa. Laskenta soveltuu tasa- ja vaihtovirralla taajuuden arvoon 60 Hz ja syöttövirran arvoon 3150 A asti. [18]

Laskennan aluksi käyttäjän tulee valita jäähdytyksen tyyppi. Valintoina tässä ovat luonnollinen ilmanvaihto, pakotettu ilmanvaihto ja ilmastointi. Jäähdytyksen tyypeille tulee myös määrittää laskennan tavoite. Tavoitteina luonnolliselle ilmanvaihdolle ovat lämpötilaprofiili ja tehohäviö, pakotetulle ilmanvaihdolle lämpötilaprofiili, tehohäviö sekä tuulettimien kapasiteetti ja ilmastoinnille lämpötilaprofiili, tehohäviö sekä ilmastoinnin teho. Jos käyttäjä ei tiedä, mikä arvo laskennasta halutaan, muuntaa ohjelmisto tiedot määrittelemättömäksi dataksi. Tämä data tulee ottaa huomioon jäähdytyksen mitoituksessa. Ohjelmisto tarvitsee myös tiedon kotelon asennustavasta, jäähdytyspinta-alasta ja tuuletusaukkojen pinta-alasta. Jos käyttäjä ei halua käyttää ohjelmiston suosittelemia jäähdytysvaihtoehtoja, tulee ohjelmistolle määrittellä tuulettimien kapasiteetti tai ilmastoinnin teho. [18]

Laskennan tulokset riippuvat käyttäjän valitsemasta jäähdytyksen tyypistä. Luonnolliselle ilmanvaihdolle ohjelmisto tuottaa lämpötilaprofiilin lämpötilasta ja ylitämmöstä kotelon yläosassa sekä ylitämmöstä kotelon keskiosassa. Tehohäviön arvioinnissa saadaan tuloksina suurin häviöteho sekä ylitämpö kotelon keski- ja yläosassa. Pakotetun ilmanvaihdon tapauksessa saadaan tuloksena samat lämpötilaprofiilit ja tehohäviön arvoinnit kuin edellä, mutta lisäksi ohjelmisto laskee tuulettimien poistaman tehohäviön, tuulettimien kapasiteetin sekä ylitämmön kotelon keski- ja yläosassa. Jos käyttäjä valitsee jäähdytyksen tyyppiä ilmastoinnin, tuottaa ohjelmisto lämpötilaprofiilin kotelon sisäisen lämpötilan keskiarvolle ja arvon suurimmalle häviöteholle. Lisäksi ohjelmisto arvioi käyttäjälle ilmastoinnin poistaman tehohäviön määrän sekä ilmastoinnin tehon. [18]

Laskennassa ohjelmisto ottaa huomioon myös asennusympäristön korkeuden merenpinnasta kertoimen avulla. Muita laskennassa käytettäviä arvoja ovat ympäristön lämpötila,

kotelon sisäinen lämpötila, kotelomateriaalin lämmönpoistokykyä kuvaava kerroin sekä ilmastoinnin tehokkuus jäähtytyksessä. Laskennan tulosten lisäksi ohjelmisto tulostaa käyttäjälle laskennassa käytettyjen kertoimien sekä suureiden arvot, jotta arviointi näiden suhteen olisi selkeämpää. Ohjelmistossa pystyy kuitenkin valitsemaan vain ABB:n valmistamista kotelotyypeistä, joten vertailu Norelcon valmistamiin koteloihin on välttämätön. [18]

## 7. KENNOKESKUKSIIN ASENNETTAVIEN TAAJUUSMUUTTAJIEN ESITTELY

Tätä työtä varten päätettiin yrityksessä, että kojeistovalmistajan tulee olla valmis varmistamaan asiakkaan ja sähkösuunnittelutoimiston määrittämän taajuusmuuttajan toimivuus asennettaessa sitä keskukseen. Kappaleessa 5.2.1 selitettiin erilaiset käyttökelpoisuusluokitukset taajuusmuuttajille ja myös vastuuvapaudet eri tahojen osalta. Myös kyselyä sähkösuunnittelutoimistoille käyttökelpoisuusluokituksista sekä eri vastuista valmistettiin työn edetessä. Valmistavassa teollisuudessa tulee kuitenkin varautua aina vastuullisimpaan tilanteeseen eli on oletettava, että sähkösuunnittelutoimisto ottaa käyttökelpoisuudessa huomioon vain kojeiston asennusympäristön. Näin ollen kojeistovalmistajan on itse huolehdittava taajuusmuuttajan asennuksesta keskukseensa niin, etteivät lämpöhäviöt ole liian suuret ja Faradayn häikin toiminta kojeiston osalta toteutuu.

Työn valmistuttua koottavien asennusohjeiden tulee siis antaa mahdollisimman tarkat suuntaviivat asentamiselle, jotta käyttövarmuus pystytään osoittamaan jokaisessa tilanteessa. Kysely sähkösuunnittelutoimistoille jätettiin lopulta toteuttamatta. Asentamiseen varaudutaan parhaiten, kun kootaan lämpenemään ja häiriönpoistoon liittyvät ohjeet eri valmistajien taajuusmuuttajien käyttöohjeista sekä vertaillaan näitä toisiinsa ja edellä käsiteltyihin teoriaosioihin. Tässä luvussa käsitellään kolmen eri valmistajan, Siemensin, Danfossin ja ABB:n, taajuusmuuttajia, joita voidaan niiden ominaisuuksien perusteella asentaa Norelcon NorPower 5000 -kennokeskuksiin.

### 7.1 Taajuusmuuttajan yleisiä asennusohjeita

Rakenteeltaan ja rungoltaan taajuusmuuttaja tuottaa hieman säteilyä ympäristöönsä, mutta tätä ei tarvitse keskukseen asennettaessa huomioida. Säteily vaimenee jo lyhyellä matkalla merkityksettömäksi, kunhan käyttökelpoisuusluokitus on valittu oikein. Tilaa, johon EMC-suojattu taajuusmuuttaja asennetaan ei siis tarvitse erikseen EMC-koteloida. Taajuusmuuttajan jälkeiset EMC-suojaamattomat komponentit tulee kuitenkin asentaa EMC-suojattuun koteloon, jotta vältetään suojaamattomien komponenttien häiriöiden kytketymiseltä muihin laitteisiin sekä kaapeleihin. Jos taajuusmuuttajan runko on häiriösäteilyn kannalta suojaamaton ja häiriöitä epäillään syntyvän, tulee myös taajuusmuuttajan tila EMC-suojata. [11]

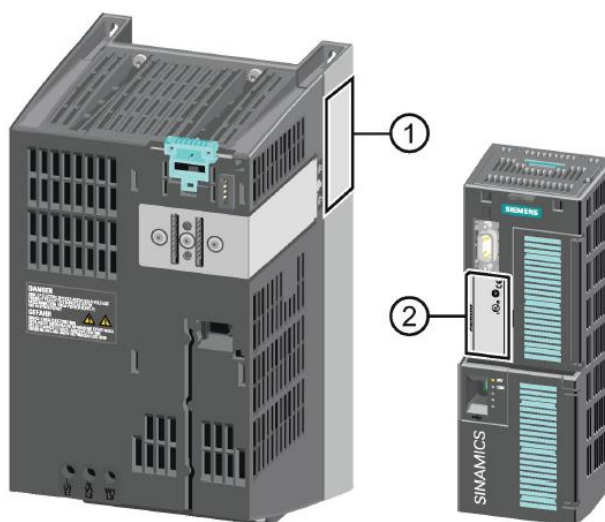
Taajuusmuuttajaa syöttävän verkon puolelle tulee asentaa EMC-suodatin, jotta sähkömagneettisten häiriöiden johtuminen syöttävän verkon puolelle estetään [11]. Kojestovalmistajan on hankittava erillinen, asennettavan taajuusmuuttajan kanssa yhteensopiva, EMC-suodatin, jos asennettavassa taajuusmuuttajassa ei itsessään ole EMC-suodatinta

[10]. Säteilyn vaikutus jää mahdollisimman pieneksi, kun suodattimen ja taajuusmuuttajan välinen kaapeli on mahdollisimman lyhyt kappaleen 5.2.3 mukaisesti [11].

Jos EMC-suodatin on kytkettynä ja taajuusmuuttaja asennetaan IT-verkkoon, yhdistyy verkko maahan EMC-suodattimen kondensaattoreiden kautta. IT-verkon tulee olla maasta erotettu, joten EMC-suodatin tulee tällaisessa tilanteessa kytkeä irti taajuusmuuttajan käyttöohjeiden mukaisesti. IT-verkon maahan kytkeytyminen voi lisäksi vahingoittaa taajuusmuuttajaa. Myös epäsymmetriseen TN-verkkoon taajuusmuuttajaa kytkettäessä tulee vaurioiden välttämiseksi taajuusmuuttajan oma EMC-suodatin kytkeä irti. Taajuusmuuttajalle suunnitellun EMC-ympäristön vaatimukset eivät kuitenkaan enää EMC-suodattimen irtikytkemisen jälkeen taajuusmuuttajan toimesta täyty ja on käytettävä ulkoista suodatinta, jonka kytkennän myötä vältetään edellä mainitut vaaratilanteet. Taajuusmuuttajan kanssa yhteensopivan suotimen tulee olla myös suunniteltuun kohteeseen sopiva. Ennen kojeistoon asentamista on aina tarkistettava, onko taajuusmuuttajassa oma EMC-suodatin tai tarvitaanko sitä kohteen kannalta lainkaan. [11]

## 7.2 Siemensin taajuusmuuttajat

Siemensin taajuusmuuttajasarjat G120P..AE..A, G120P..AE..B, G120P..AM..A ja G120P..AM.B on suunniteltu energian kulutuksen optimointiin rakennusten pumppu- ja tuuletinsovelluksissa. G120P-sarjan taajuusmuuttajat muodostuvat aina tehomodulista, ohjausyksiköstä, kuten kuvassa 24, sekä keskusasennuksia varten tilattavasta ohjauspaneelistä. [19]



**Kuva 24.** Siemensin G120P-sarjan taajuusmuuttajan osat: 1) tehomoduli, 2) ohjausyksikkö [20].

Keskusasennuksia varten ohjauspaneeli tarvitsee myös erillisen oviaasennussarjan. Ohjausyksikön tyyppi riippuu sen kenttäväylästä ja se ohjaa sekä tarkkailee kytketyn moottorin toimintaa. Tehomoduliin taas kytketään syöttö- ja moottorikaapeli. Myös ohjausyksikkö kiinnitetään ennen asennusta tehomodulin etupaneeliin. [20]



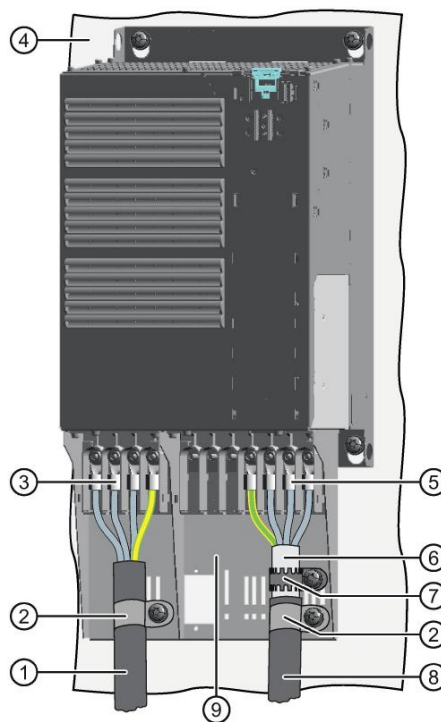
Taajuusmuuttajasarjat ohjaavat kolmivaiheista moottoria ja niiden käyttö on käyttöohjeita noudatettaessa rajattu teollisuuskohteisiin. Julkisiin verkkoihin taajuusmuuttajia asennettaessa täytyy tehdä ylimääräisiä toimenpiteitä. Siemensin taajuusmuuttajien tarkoituksena on säädellä ilmastoinnin tulo- ja poistoilmahuuhtimien moottoreiden pyörimisnopeuksia. HVAC-sovelluksissa taajuusmuuttajat säätelevät myös kierrättäviä pumppuja. Taajuusmuuttajien avulla voidaan myös tehostaa tai säädellä pumppujen täyttymistasoa. Kuvan 24 osien lisäksi on tilattavissa taajuusmuuttajaan kytkettäviä reaktoreita, suodattimia sekä jarrumoduuleja ja -vastuksia. Suodatinta tarvitaan, kun taajuusmuuttajassa ei itsessään ole EMC-suodatinta. Suodattimen asentaminen vaatii myös, että keskus on kytkettynä TN-verkkoon, jossa järjestelmän nolla on yhteydessä maahan. Erikseen tilattavia suodattimia on saatavissa yhteensopivina käyttökelpoisuusluokituksella C1 tai C2. Taajuusmuuttajien tehomodouleja puolestaan on saatavilla ilman suodatinta tai sisäänrakennetulla käyttökelpoisuusluokan C2 suodattimella. Myös sisäänrakennetun EMC-suodattimen kanssa tulee varmistua siitä, että asennusverkkona on TN-verkko, jonka nolla on yhteydessä maahan. Muissa tapauksissa tulee suodatin kytkeä irti kappaleen 5.2.2 mukaisesti. [19, 20]

Syötön reaktoria tarvitaan, kun halutaan parantaa taajuusmuuttajan ylijännitesuojausta. Syötössä reaktori vaimentaa harmonisia yliaaltoja ja sitä tulisi käyttää, jos näitä epäillään olevan syöttävässä verkossa. Ilman reaktoria taajuusmuuttaja ja muut komponentit voivat vaurioitua harmonisten yliaaltojen vaikutuksesta. Moottorikaapeliin kytketään reaktori, jotta voidaan pienentää moottorin jänniterasitetta sekä kaapeleiden kapasitiivisten virtojen taajuusmuuttajalle aiheuttamaa kuormaa. Moottorikaapeliin tulee kytkeä reaktori, kun kyseessä on suojattu kaapeli, joka on pituudeltaan yli 50 m tai suojaamaton kaapeli, joka on pituudeltaan yli 100 m. Tällainen reaktori voi kuitenkin ylikuumentua, jos taajuusmuuttajan pulssitaajuus on yli 4 kHz. Sähköiseen jarrutukseen tarkoitettujen jarrumoduulien ja -vastukset ovat vakiovarusteena teholtaan yli 132 kW:n taajuusmuuttajissa. Tätä pienemmissäkin taajuusmuuttajissa niitä voidaan tarvita, jotta suuren hitauden kuormia pystytään jarruttamaan nopeasti. Näin ollen Siemens tarjoaa myös koko mallistoonsa tehovälillä 0,37 kW...110 kW yhteensopivia jarrumoduuleja ja -vastuksia. [20]

Tehomodulimalleja, joihin ohjausmoduulit liitetään, ovat PM230, PM240, PM240-2, PM250, PM260 ja PM330 ja erilaisia tehomodulimalleja on saatavissa rungoltaan eri kokoisina. Tehomodulien runkokoot on nimetty FSA, FSB, FSC, FSD, FSE ja FSF. Kaikki tehomodulimallit ovat IP-luokituksestaan IP20 ja myös tilojen, joihin taajuusmuuttajat tullaan asentamaan, tulee täyttää sama tiiveystaso. PM230-mallin tehomodouleja on lisäksi saatavilla IP55-luokituksella, mutta tällaista tiiveyttä ei keskukseen asennettaessa tarvita. Tehomoduliin liitettävien kaapeleiden asentamiseen suositellaan suojalevyä ja tähän kiinnitettäviä metallivöitä. Kun kaapeli kiristetään suojalevyyn metallivöillä, saadaan se kulkemaan mahdollisimman lähellä johtavaa pintaa häiriöiden pienentämiseksi. Lisäksi metallivöyt toimivat kaapeleiden vedonpoistona ja maayhteytenä

moottorikaapelin suojavaipalle. Siemensin taajuusmuuttajien tilauksissa suojalevy ja metallivyö tulevat vakiovarusteina. Itse tehomodulin asentamiseen on malleille PM240, PM250 ja PM260 tilattavissa DIN-asennuskiskosovitin, jolla tehomoduli saadaan kiinnitettyä kahteen 100 mm:n etäisyydellä toisistaan olevaan DIN-asennuskiskoon. Norelcon kennokeskuksissa komponenttien asennus tapahtuu tavallisesti DIN-asennuskiskoille, joten tämä olisi asennustavoista helpoin toteuttaa. DIN-asennuskiskosovitin on kuitenkin rajattu taajuusmuuttajille, jotka ovat runkokooltaan FSA tai FSB. [20]

Kaikkia Siemensin taajuusmuuttajia on suunniteltu käytettäväksi teollisuusympäristössä, jossa esiintyy huomattava määrä häiriösaiteilyä. Taajuusmuuttajien asennusohjeista löytyy kuitenkin myös keskusasennukseen liittyviä ohjeita, joita tulee noudattaa häiriöttömän käytön varmistamiseksi. Keskukseen kaikkien metalliosien ja komponenttien tulee olla varmasti sähköisessä yhteydessä keskuksen runkoon ja yhdistyksissä tulee käyttää mahdollisimman suurta kosketuspinta-alaa. Kriittisiä yhteyksiä ovat myös suojamaadoituksen PE-kisko sekä mahdollinen EMC-suojakisko. Kuvassa 25 on kuvattu Siemensin taajuusmuuttajan asentaminen sähkömagneettisen yhteensopivuuden mukaisesti. [20]



**Kuva 25.** Taajuusmuuttajan asennus sähkömagneettisen yhteensopivuuden mukaisesti [20].

Kaikkien keskuksen koteloiden tulee myös olla sähköisessä yhteydessä runkoon ja ohjeissa suositellaan komponenttien asennukseen käytettävän paljasta metallikiskoa tai asennusalustaa. Keskukseen maalattujen osien ruuviyhdistyksissä tulee käyttää erikoisvalmisteisia aluslaattoja, jotka pystyvät pureutumaan maalin läpi johtavaan pintaan asti. Maalia voidaan myös pyrkiä poistamaan yhdistyspaikasta niin, että johtava yhteys mahdollistuu. Keskukseen asennettavien kontaktorien keloihin tulee liittää EMC-suojaaavat

vaimentimet. Vaimentimia tarvitaan myös releille sekä solenoidikoskettimille. Kuvan 25 kohdat 1-3 kuvaavat syöttökaapelin liittämistä taajuusmuuttajaan, jossa on sisäänrakennettu häiriösuodatin. Kohdassa 2 on metallivyö, joka toimii vedonpoistona. Maalama-tonta johtavaa asennuspintaa on merkitty numerolla 4 ja kuvan 25 tapauksessa kiinnitys tähän tapahtuu ruuveilla. Hyvän johtavuuden DIN-asennuskiskojen käyttö on myös mahdollista, kuten edellä on mainittu. Numeroilla 5-8 kuvataan moottorikaapelin liittämistä taajuusmuuttajaan. Kohdassa 6 on kaapelin suojavaippa kuorittuna esiin ja numerolla 7 on merkitty metallivyö, joka yhdistää suojan ja suojalevyn. Numerolla 9 taas on merkitty taajuusmuuttajan asentamiseen käytettävää suojalevyä. [20]

Taulukkoon 4 on koottu Siemensin taajuusmuuttajien tarvitsemat etäisyydet muihin komponentteihin ja kotelon seiniin runkokoon mukaan. Samaan kotelotilaan voi lämpenemän ja sähkömagneettisen yhteensopivuuden kannalta asentaa runkokokojen FSA, FSB ja FSC taajuusmuuttajia sivuiltaan kiinni toisiinsa, mutta käyttöohjeissa suositellaan jättämään kuitenkin vähintään 1 mm:n väli sivusuunnassa seuraavaan taajuusmuuttajaan. Tarvittavat jäähdytysilmamäärät taajuusmuuttajille löytyvät käyttöohjeista yksikössä 1/s. [19]

**Taulukko 4.** Siemensin taajuusmuuttajien tarvitsemat etäisyydet muihin komponentteihin tai kotelon seiniin runkokokojen mukaan [19].

Taajuusmuuttajan runkokoko	Etäisyydet muihin komponentteihin tai kotelon seiniin [mm]		
	Lämpöhäviön kannalta (yläpuoli)	Jäähdytysilman kannalta (alapuoli)	Jäähdytysilman kannalta (sivut)
<b>FSA</b>	100	100	0
<b>FSB</b>	100	100	0
<b>FSC</b>	125	125	0
<b>FSD</b>	300	300	50
<b>FSE</b>	300	300	50
<b>FSF</b>	350	350	50

Tehomoduuli tulee asentaa koteloon pystysuorassa siten, että syöttö- ja moottorikaapeleiden lähdöt ovat alaspäin. Eri tehomoduuleista on myös saatavilla kotelon oven läpi asennettavia malleja. Tällaisia malleja asennettaessa tulee käyttöohjeen mukaisesti leikata kotelon oveen riittävä aukko ja käyttää asennettaessa erikseen tilattavaa asennuskehikkoa. Asennuskehikon avulla kotelon oveen mahdollistetaan IP54-luokan tiiveys,

vaikka taajuusmuuttaja on ovesta läpi tuotukin. Ovesta läpi tuotavat taajuusmuuttajat ovat IP-luokituksestaan myös IP54 ja ilman asennuskehikkoa on hankalaa toteuttaa tämä luokitus oven puolesta. Asennuskehikko ja taajuusmuuttaja tulee asentaa oveen niin, että ne ovat yhteydessä maalaamattomaan ja johtavaan pintaan ovesta. Erilliset suodattimet, reaktorit ja jarrumoduulit voidaan tilata runkomoduuleina, jolloin ne asennetaan tehomodulin rungon ja asennuslevyn tai -kiskon väliin. Tällaisia moduuleja voi myös olla esimerkiksi kaksi päällekkäin, jos samassa sovelluksessa tarvitaan sekä suodatusta että ylijännitesuojausta. Tehomodulista, ohjausyksiköstä, ohjauspaneelistä ja mahdollisista runkomoduuleista koostuvan taajuusmuuttajakokonaisuuden yhteissyvyys tulee kuitenkin pitää asennussuunnitelmissa mielessä, sillä kaikki erilliset osat kootaan syvyysuunnassa päällekkäin ennen varsinaista keskusasennusta. Taajuusmuuttajan tarvitseman kotelon koko saadaan siis lisäämällä taajuusmuuttajakokonaisuuden mitat taulukon 4 mukaisesti etäisyyksiin. [20]

Kappaleessa 5.2.3 esiteltiin yleisiä ohjeita kaapeloinnin häiriönpoistoon. Siemensin ohjeiden mukaan tulee taajuusmuuttajan tehokaapeleiden ja ohjauskaapeleiden välillä olla 25 cm:n etäisyys, vaikka kappaleen 5.2.3 mukaan 20 cm:n etäisyys on riittävä. Jos taajuusmuuttajan syöttöön joudutaan asentamaan erillinen suodatin, tulee syötöstä suodattimelle kulkevat kaapelit pitää erillään suodattimelta taajuusmuuttajalle kulkevasta kaapelista, jarrumoduulin ja -vastuksen kytkentäkaapeleista sekä moottorikaapelista. Signaali- ja datakaapelit sekä suodattimelliset syöttökaapelit saavat ohjeiden mukaisesti ristetä ilman suodatinta olevien tehokaapeleiden kanssa vain kohtisuorassa. Käytettävien kaapeleiden tulee lisäksi olla mahdollisimman lyhyitä ja suojattuja. Yksittäisen kaapelin suojavaipan tulee olla molemmista päistään maayhteydessä ja keskukseen tuotaessa maayhteyden tulee muodostua mahdollisimman lähelle kaapelin sisääntulokohtaa. Suojavaippaa ei myöskään saa katkoa väliin asennettavilla liittimillä, vaan suojavaipan tulee jatkua yhtenäisenä. Suojavaipan yhdistykseen tulee käyttää EMC-liittimiä, joissa on mahdollisimman suuri johtava pinta. Keskuksessa on lisäksi käytettävä EMC-suojattuja kiskostoja tehokaapeleille. Taajuusmuuttajaan liitettävien kaapeleiden asennuksessa suositellaan käyttämään edellä mainittua taajuusmuuttajan mukana tulevaa suojalevyä ja metallivyötä. Taajuusmuuttajan kaapeleiden EMC-suojaus onnistuu myös ilman suojalevyä, mutta tällöin on muilla tavoin varmistettava kaapeleiden kulku pitkin johtavaa maayhteydellistä pintaa. [20]

### 7.3 Danfossin taajuusmuuttajat

Danfossin valmistaman Vacon 10 -sarjan taajuusmuuttajia on saatavilla kolmea eri runkokokoa, MI1, MI2 ja MI3. Keskukseen Vacon 10 -sarjan taajuusmuuttajat voidaan asentaa joko ruuveilla tai käyttää asennukseen DIN-asennuskiskoa. Taajuusmuuttajan taakse liimatusta ohjetarrasta löytyvät laitteen asennusmitat. Jäähdytystä varten varattavat tilat on myös koottu taulukkoon 5. Jäähdytyksen tarve taas riippuu paitsi taajuusmuuttajan runkokoosta myös sen kytkentätaajuudesta. Jos taajuusmuuttajan loppukäyttäjä haluaa

jostain syystä kasvattaa taajuusmuuttajan kytkentätaajuutta, esimerkiksi pienentääkseen moottorin ääntä, vaikuttaa se taajuusmuuttajan tehohäviöön ja näin ollen jäähdytykseen. [21]

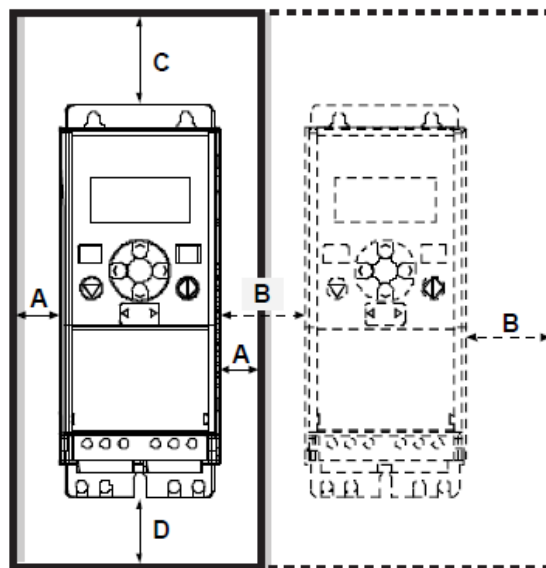
Vacon 10- sarjan taajuusmuuttaja toimitetaan yhtenä pakettina toisin kuin edellä esiteltyt Siemensin modulaariset G120P-sarjan taajuusmuuttajat. Ohjauspaneelleja on kuitenkin saatavilla myös oviaasennukseen. Käyttökelpoisuusluokituksestaan Vacon 10 -sarjan taajuusmuuttajat ovat C2-luokkaa. Jos käyttökohteessa ei tarvita näin korkeaa käyttökelpoisuusluokkaa tai asennuskotelo on EMC-suojaukseltaan riittävän tiivis, voidaan sarjan taajuusmuuttajat, 115 V:n ja 600 V:n taajuusmuuttajia lukuun ottamatta, muuttaa C2-luokasta luokkaan C4 irrottamalla laitteen sivupaneelissa oleva EMC-kondensaattorin irtikytkentäruuvi. Käyttökelpoisuusluokituksen muutoksesta täytyy kuitenkin olla täysin varma, sillä vaikka EMC-kondensaattorin irtikytkentäruuvien kiinnittäisi takaisin paikalleen muutoksen jälkeen, ei taajuusmuuttaja enää täytä C2-luokan vaatimuksia. [21]

**Taulukko 5.** Kuvan 26 mukaiset, Vacon 10 – ja Vacon 20 -sarjan taajuusmuuttajien tarvitsemat, etäisyydet (A, B, C ja D) muihin komponentteihin tai kotelon seiniin runkokokojen mukaan [21, 22].

Taajuusmuuttajan runkokoko	Etäisyydet muihin komponentteihin tai kotelon seiniin [mm]			
	A	B	C	D
MI1	20	20	100	50
MI2	20	20	100	50
MI3	20	20	100	50
MI4	20	20	100	100
MI5	20	20	120	100

Taulukon 5 sarakkeet A, B, C ja D vastaavat kuvan 26 mittoja A, B, C ja D. Jos useita taajuusmuuttajia kiinnitetään keskukseen päällekkäin, tulee niiden väliin jättää etäisyys C+D. Jäähdytysilmamäärät löytyvät käyttöohjeista yksikössä m<sup>3</sup>/h. Päällekkäin asennettuna tulee etäisyyden C+D lisäksi huolehtia, että alemman taajuusmuuttajan jäähdytysilma johdetaan pois ylemmän taajuusmuuttajan jäähdytysilman sisääntulosta. Jos asennusympäristön lämpötila on alle 40 °C, voidaan taajuusmuuttajat asentaa myös siten, että B = 0 mm. Vacon 10 -sarjan taajuusmuuttajan maayhteys on aina tuotava muuttajan maadoitusliittimeen. Taajuusmuuttajan sisäinen maasulkusuojaus suojaa vain itse laitteen

maasuluilta ja vikavirtasuojakytkimiä käytettäessä tulee niiden toiminta mahdollisissa vi-  
katilanteissa testata tilanteissa esiintyvillä maasulkuvirroilla. Kaapeloinnissa tulisi käyt-  
tää pelkästään kaapeleita, joiden lämmönkesto on vähintään  $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Taajuusmuuttajan  
sulakkeet taas tulee valita käyttöohjeiden mukaan, sillä ne toimivat samalla myös kaape-  
leiden ylikuormitussuojana. Sulakkeiden ja kaapeleiden määritykset käyttöohjeiden mu-  
kaan pätevät vain, kun yksittäinen taajuusmuuttaja syöttää yksittäistä moottoria ja näiden  
välillä on ainoastaan yksi kaapeliyhteys. Muissa tilanteissa pyydetään ottamaan yhteyttä  
valmistajaan, jotta käyttövarmuus on mahdollisimman hyvä. [21]



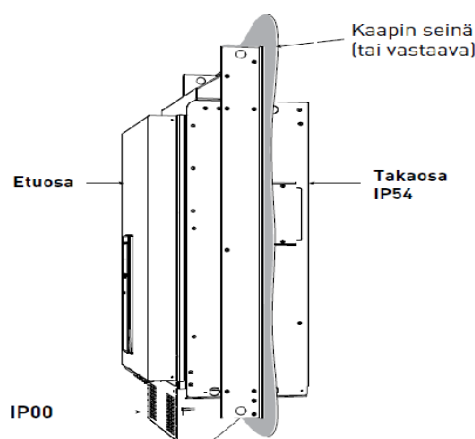
**Kuva 26.** Taulukkojen 5 ja 6 sarakkeita A, B, C ja D vastaavat mitat [21].

Syöttökaapelina käyttökelpoisuusluokkien C2 ja C4 taajuusmuuttajille suositellaan käy-  
tettävän vahvavirtakaapelia, joka on tarkoitettu kiinteään asennukseen ja käytettävälle  
verkkojännitteelle. Syöttökaapelina ei tarvitse käyttää suojattua kaapelia ja käyttöohjeissa  
esimerkkinä on NKCABLES/MCMK tai vastaava. Samat vaatimukset pätevät luokan C4  
taajuusmuuttajan moottorikaapelille. C2-luokan taajuusmuuttajan moottorikaapelin tulee  
kuitenkin olla vahvavirtakaapeli, joka on varustettu tiiviillä ja pieni-impedanssisella suo-  
javaipalla sekä sopii käytettävälle verkkojännitteelle. Tässä tapauksessa esimerkkinä on  
NKCABLES/MCCMK tai vastaava. Moottoriliitäntään tulee lisäksi tehdä suojausvaipan  
 $360\text{ }^{\circ}$  maadoitus maadoitusholkilla. Molempien käyttökelpoisuusluokitusten taajuus-  
muuttajien ohjauskaapeleiden taas tulee olla häiriösuojattu kaapeleita, jotka on varus-  
tettu tiiviillä ja pieni-impedanssisella suojavaipalla. Ohjauskaapelin esimerkkinä on  
NKCABLES/Jamak. Kaapeleiden paksuudet on sulakekojen tapaan ilmoitettu taajuus-  
muuttajan käyttöohjeessa, mutta suojamaadoitusjohtimen poikkipinta-alan tulee kuiten-  
kin vähintään olla kuparikaapelia käytettäessä  $10\text{ mm}^2$  ja alumiinikaapelia käytettäessä  
 $16\text{ mm}^2$ . Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää ylimääräistä suojamaadoitusjohdinta, joka on  
vähintään samankokoinen kuin alkuperäinen johdin. Moottorikaapeleiden sijoittamista

pitkiin samansuuntaisiin linjoihin muiden kaapeleiden kanssa tulee välttää. Yhdensuuntaisina kulkevien moottorikaapeleiden ja muiden kaapeleiden vähimmäisetäisyyden tulee käyttöohjeen mukaan olla 30 cm, kun taas Siemensin taajuusmuuttajien käyttöohjeiden vaatimuksissa etäisyys oli 25 cm. Enimmäispituus moottorikaapeleille on 30 m, sillä virtatarkkuus huononee käytettäessä tätä pidempiä kaapeleita. Moottorikaapeleiden tulisi, Siemensin taajuusmuuttajien käyttöohjeen tapaan, risteta muiden kaapeleiden kanssa kohtisuorassa. Moottori- ja syöttökaapeleiden kuoriminen tulee tapahtua siten, että maadoitusjohdinta eristyksineen on esillä 43 mm ja vaihejohtimia eristyksineen on esillä 28 mm. Johtimista tulee tämän lisäksi kuoria niiden omaa eristystä 8 mm. [21]

Vacon 20 -sarjan taajuusmuuttajia on saatavilla runkokoossa MI1, MI2, MI3, MI4 ja MI5. Jäähdytystä varten jätettävät tilavaraukset löytyvät taulukosta 5. Vacon 20 -sarjan taajuusmuuttajien vaatimat jäähdytysilmamäärät löytyvät taajuusmuuttajien käyttöohjeista yksikössä m<sup>3</sup>/h. Myös Vacon 20 -sarjan taajuusmuuttajat ovat käyttökelpoisuusluokitukseltaan C2-luokkaa. Runkokokojen MI1, MI2 ja MI3 muuttaminen luokkaan C4 tapahtuu samalla lailla kuin Vacon 10 -taajuusmuuttajilla, mutta runkokokojen MI4 ja MI5 taajuusmuuttajille tämä voidaan lisäksi suorittaa poistamalla taajuusmuuttajan alareunassa sijaitsevat EMC-pistikkeet. Moottorikaapeleiden enimmäispituus runkokokojen MI4 ja MI5 tapauksissa on 50 m. Muilta osin Vacon 10 -sarjan taajuusmuuttajien käyttöohjeiden mukaiset asennusohjeet pätevät myös Vacon 20 -sarjan taajuusmuuttajille. [22]

Vacon 100 -sarjan taajuusmuuttajat kuuluvat pääosin IP-luokkaan IP54 ja niitä on saatavilla runkokokoina MR4, MR5, MR6, MR7, MR8 ja MR9. Keskukseen asennettaessa suositellaan eri runkokokojen mukaista kaulusasennusta kotelon oveen, mutta myös DIN-asennuskiskon avulla tapahtuva asennus on mahdollinen. Kuvassa 27 on esimerkki runkokoon MR9 kaulusasennuksesta. [23]



**Kuva 27.** Esimerkki Vacon 100 -sarjan taajuusmuuttajan kaulusasennuksesta (runkoko MR9) [23].

Kuvaan 27 on myös merkitty kaulusasennukseen tarkoitetun Vacon 100 -sarjan taajuusmuuttajan osien IP-luokitukset asennuksen jälkeen. Kiinnitysaukkojen mitat eri runkokokojen tapauksissa löytyvät taajuusmuuttajien käyttöohjeista. Eri runkokokojen vaatimat

varatilat jäähdytyksen kannalta taas löytyvät taulukosta 6 ja taulukon 6 sarakkeet A, B, C ja D vastaavat kuvan 26 mittoja A, B, C ja D. [23]

**Taulukko 6.** Kuvan 26 mukaiset, Vacon 100 -sarjan taajuusmuuttajien tarvitsemat, etäisyydet (A, B, C ja D) muihin komponentteihin tai kotelon seiniin runkokokojen mukaan [23].

Taajuusmuuttajan runkokoko	Etäisyydet muihin komponentteihin tai kotelon seiniin [mm]			
	A	B	C	D
MR4	20	20	100	50
MR5	20	20	120	60
MR6	20	20	160	80
MR7	20	20	250	100
MR8	20	20	300	150
MR9	20	20	350	200

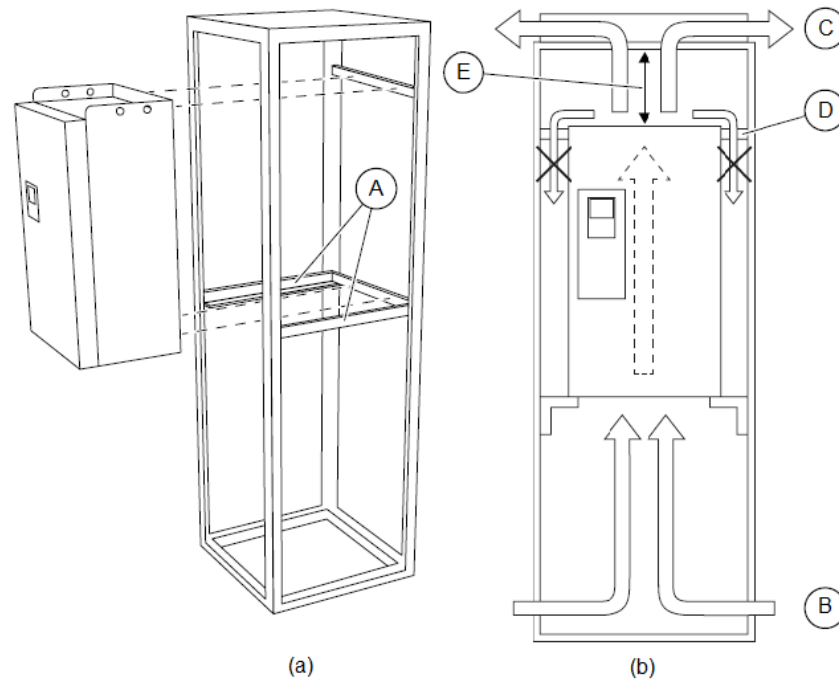
Tarvittavat jäähdytysilmamäärät Vacon 100 -sarjan taajuusmuuttajille löytyvät käyttöohjeista yksikössä m<sup>3</sup>/h. Kaapeloinnin kannalta ohjeet ovat samankaltaiset kuin taajuusmuuttajasarjoille Vacon 10 ja Vacon 20, mutta esimerkiksi jarruvastuksen kytkentään käytettäviä liittimiä R+ ja R- ei Vacon 100 -sarjan taajuusmuuttajissa käytetä. Ulkoisia laitteita ei näin ollen voida näihin kytkeä Vacon 10 - ja Vacon 20 -sarjan tapaan. Moottorikaapeleiden enimmäispituus runkokoon MR4 tapauksessa on 100 m, runkokokojen MR5 ja MR6 tapauksissa 150 m sekä runkokokojen MR7, MR8 ja MR9 tapauksissa 200 m. Myös kaapeleiden kuorintapituudet poikkeavat taajuusmuuttajasarjoista Vacon 10 ja Vacon 20, mutta nämä tiedot ovat helposti saatavilla käyttöohjeesta. Sääntönä maadoitusjohtimelle on kuitenkin, että se jätetään mahdollisimman lyhyeksi yhdistettäessä taajuusmuuttajan maadoitusliittimeen. [23]

Vacon 100 -sarjaa on saatavissa myös IP-luokituksella IP00 runkokokoina MR8, MR9, MR10 ja MR12. IP00-luokitus tarkoittaa, että taajuusmuuttajat on suunniteltu juuri kotelosennusta varten. Muiden runkokokojen taajuusmuuttajat koostuvat yhdestä osasta, mutta runkokoon MR12 taajuusmuuttajassa on kaksi tehomoduaalia, joista toinen sisältää ohjausmoduulin. Taajuusmuuttajiin on myös tilattavissa ulkoinen teholiitântäkotelo, jonka avulla yhteen liittimeen voidaan kytkeä kolme moottorikaapelia. Teholiitântäkotelo



sijoitetaan varsinaisen taajuusmuuttajan läheisyyteen ja näiden väliset kaapelit tulee asentajan itse tilata ja huolehtia. Lisävarusteen myötä myös tarvittavan asennustilan koko kasvaa. [24]

Keskukseen Vacon 100 -sarjan IP00-luokan taajuusmuuttajamoduulit asennetaan pystysuoraan asentoon ja asennuksessa suositellaan käytettävän myös kotelon sisäsivuille asennettavia tukikiskoja. Kuvassa 28 on esitetty Vacon 100 -sarjan IP00-taajuusmuuttajamoduulin asentaminen koteloon sekä ilmankierto kotelossa, kun taajuusmuuttaja on asennettu paikalleen. [24]

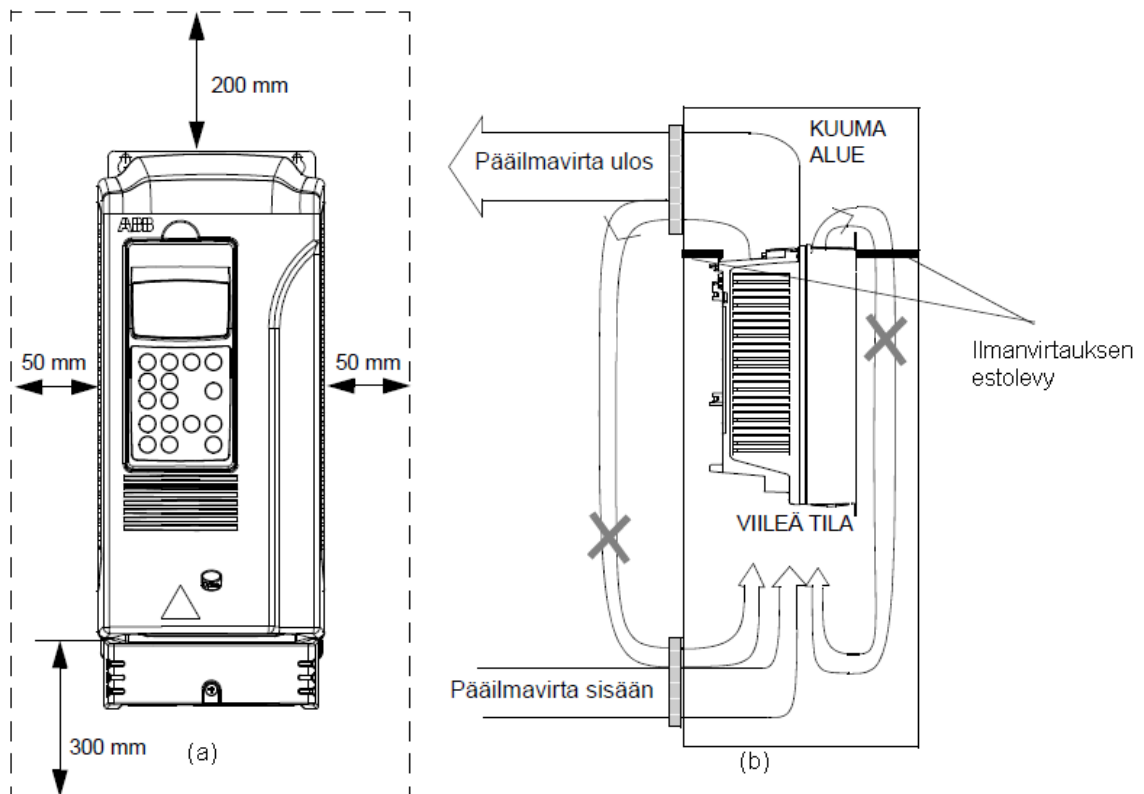


**Kuva 28.** Vacon 100 -sarjan IP00-taajuusmuuttajamoduulin asentaminen: (a) asentaminen tukikiskoille, (b) ilmankierto kotelossa [24].

Kuvassa 28 kirjaimella A on merkitty kotelon sivuseinille suositellut tukikiskot. Kirjaimella B on merkitty viileän ilman pääsy sisään koteloon ja kirjaimella C kuuman ilman pääsy ulos kotelosta. Koteloon tulee tukikiskojen lisäksi asentaa suojukset, jotta kuuma ilma ei pääse uudelleenkiertoon kotelossa. Näitä suojuksia on kuvassa 28 merkitty kirjaimella D. Kirjaimella E on merkitty taajuusmuuttajan minimietäisyys kotelon katosta, joka on Vacon 100 -sarjan taajuusmuuttajilla 200 mm. Kohtien B ja C mukaisen ilmankierron vaatimien ilmanottoareikien pinta-alat ovat runkokokojen MR8, MR9, MR10 ja MR12 mukaisesti  $150 \text{ cm}^2$ ,  $300 \text{ cm}^2$ ,  $600 \text{ cm}^2$  ja  $2 \cdot 600 \text{ cm}^2$ . Jäähdytysilman määrät löytyvät käyttöohjeesta, mutta ohjeen mukaisesti edellä luetelluilla ilmanottoareikien pinta-aloilla vaadittavat määrät tulevat täytettyä. Kotelossa ei kuitenkaan tällöin saa olla muita tehohäviöitä aiheuttavia komponentteja. [24]

## 7.4 ABB:n taajuusmuuttajat

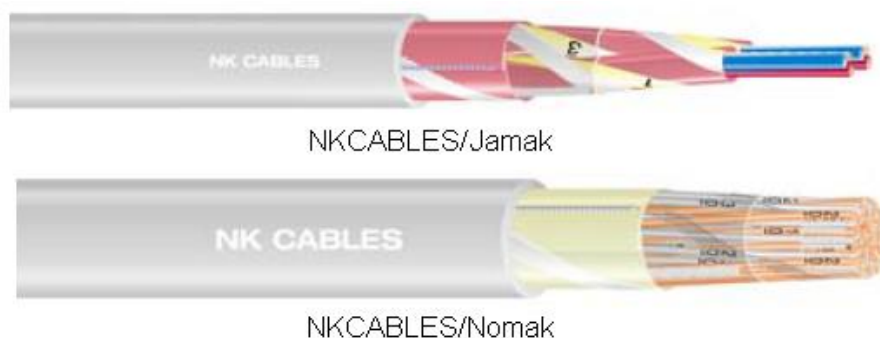
ABB:n sovelluskohtaisia taajuusmuuttajia on saatavilla IP21-kotelointiluokassa runkokokoina R1, R2, R3, R4, R5 ja R6. Käyttöohjeessa vaaditussa asennuspaikassa ei saa esiintyä pölyä, syövyttäviä kaasuja tai nesteitä eikä johtavia epäpuhtauksia kuten tippuvaa vettä. Näin ollen IP21-luokan taajuusmuuttaja suositellaan asentamaan koteloon tai keskukseen, kun tällainen asennusympäristö on kyseessä. Taajuusmuuttajia ABB toimittaa myös luokituksella IP54, mutta näiden suositeltu asentaminen tapahtuu seinälle. Jos taajuusmuuttajia asennetaan päällekkäin, tulee näiden väliin asentaa mekaaninen este, joka estää alemman taajuusmuuttajan tuottaman kuuman ilman pääsyn ylemmän taajuusmuuttajan jäähdytysilman sisäänottoon. Kuvassa 29 on esitetty ABB:n taajuusmuuttajan vaatimat tilavaraukset jäähdytyksen kannalta sekä kuvaus jäähdytysilman johtamisesta kaapista ulos. [25, 26]



**Kuva 29.** ABB:n ACS800-taajuusmuuttajan asentaminen: (a) tilavaraukset jäähdytystä varten, (b) ilmankierto kotelossa [26].

Osassa ABB:n taajuusmuuttajia on mahdollista jättää taajuusmuuttajan etukansi asentamatta, kun taajuusmuuttaja on saatu keskukseen muilta osin asennettua. Etäisyys kotelon seiniin tulee olla 50 mm kuvan 29 mukaisesti ja etäisyys toiseen taajuusmuuttajaan, josta etukansi on myös poistettu, tulee olla 5 mm. Jos kansi asennetaan, voi taajuusmuuttajia asentaa etäisyydellä 0 mm. Kuvan 29 mukaisen sisään tulevan pääilmavirran lämpötila ei saa olla yli +40 °C. Jäähdytysilman kierto on varmistettava estolevyillä niin, ettei sama jäähdytysilma pääse kiertämään kotelossa. [26]

Moottorikaapelisuosituksena ABB:n taajuusmuuttajille on suojattu ja symmetrinen kaapeli, joka sisältää kolmivaiheiset johtimet sekä konsentrisen tai muuten rakenteeltaan symmetrisen PE-johtimen ja suojavaipan. Näin ollen käyttöohjeessa suositellaan käyttämään kaapelia, jonka suojavaippa vaimentaa tehokkaasti häiriöitä, kuten esimerkiksi MCCMK-kaapeli. Käyttöohjeessa sallitaan myös erillinen PE-johdin, jos kaapelin suojavaipan johtokyky on alle puolet vaihejohtimen johtokyvystä ja vaihejohtimen poikkipinta-ala on enintään  $10 \text{ mm}^2$ . Taajuusmuuttajan kytkentään ei kuitenkaan sallita nelijohdinjärjestelmää, jossa on kolmivaiheiset johtimet ja suojaava johdin, mutta ei suojavaippaa. Kaapelin suojavaippa tulee kiinnittää tiivistelaippaan taajuusmuuttajan päässä, kun kaapeloidaan ilman erillistä PE-johdinta. Suojavaipan langat tulee kiertää yhdeksi johtimeksi siten, että sen pituus on enintään viisinkertainen sen paksuuteen. Moottorikaapeliin ei saa käyttöohjeen mukaan kytkeä kompensointikondensaattoreita. Ohjauskaapeleina suositellaan käyttämään suojattuja kaapeleita, joiden lämpötilakestoisuus on vähintään  $60^\circ\text{C}$ . Käyttöohjeessa tällaisia kaapeleita ovat kuvan 30 NKCABLES/Jamak ja NKCABLES/Nomak. [25]



**Kuva 30.** ABB:n taajuusmuuttajien suositellut ohjauskaapelityypit [25].

ABB:n taajuusmuuttajien asennusohjeissa riittävä etäisyys tehokaapeleiden ja ohjauskaapeleiden välillä on 20 cm ja tämä on myös minimietäisyys taajuusmuuttajan kyljistä. Releohjatuille signaaleille tulee puolestaan käyttää kierrettyjä pareja varsinkin ohjauksissa, joissa jännite ylittää arvon 30 V. Jos releohjattujen signaalien jännite jää pienemmäksi kuin 30 V, voi niitä käyttää samoissa kaapeleissa kuin digitaalisia tulosignaaleja. Analogisten kaapeleiden tapauksissa suositellaan käyttämään kaksoissuojattua ja kierrettyä parikaapelia sekä maadoittamaan vain kaapelin toinen pää. Jokaiselle analogiselle signaalille tulee käyttää omaa suojattua parikaapelia. Digitaalisille signaaleille sallitaan yksinkertaisesti suojattu ja kierretty useamman parin kaapeli, mutta paras vaihtoehto on kuitenkin kaksoissuojattu kaapeli. Jos taajuusmuuttajan kannessa oleva ohjauspaneeli kytkeään taajuusmuuttajaan kaapelilla, saa tällöin käyttää vain kierrettyä Ethernet-parikaapelia. Maksimipituus tällaiselle kaapelille on 3 m. EMC-suotimen kytkeminen irti, esimerkiksi IT-verkkoon asennusta varten, voi vaihdella ABB:n taajuusmuuttajissa. Taulukkoon 7 on koottu erilaisia tapoja suotimen irtikytkentään. Ruuvit EM1, EM3, F1 ja F2 ja niiden sijainnit löytyvät helpoiten eri taajuusmuuttajien käyttöohjeista. Taulukon 7 merkintä x

tarkoittaa, että kyseinen ruuvi tulee kiinnittää, jolloin myös EMC-suodatin tulee kytkettyä. Merkinnällä o tarkoitetaan, että ruuvi tulee korvata tuotteen mukana toimitetulla polyamidiruuvilla. Tällöin EMC-suodatin kytketään irti. EMC-suodatin voidaan kytkeä irti myös irrottamalla ruuvi viivalla merkityssä tapauksessa. Jos järjestelmässä käytetään 30 mA:n vikavirtasuojakytkintä, suositellaan ruuvien irrottamista. Jos käytetään 300 mA:n vikavirtasuojakytkintä, tulee käyttöohjeen mukaan ottaa yhteys valmistajaan. [25]

**Taulukko 7.** EMC-suotimen ruuvien asennussäännöt suotimen kytkemiseen ja irtikytkemiseen järjestelmätyypin ja runkokoon mukaan [25].

Runkokoko	Ruuvi	Symmetrisesti maadoitetut TN-verkot (TN-S)	Epäsymmetrisesti maadoitetut TN-verkot	IT-verkot	Vikavirtasuojakytkimet (RCD)
R1...R3	EM1	x	x	o	o
	EM3	x	o	o	o
R4	EM1	x	x	—	—
	EM3	x	—	—	—
R5...R6	F1	x	x	—	—
	F2	x	x	—	—

IP21-kotelointiluokan taajuusmuuttajille voi toimituksessa tulla mukana erillinen taajuusmuuttajan läpivientiholkkien läheisyyteen kiinnitettävä kytkentäkotelo. Tällaista metallista kytkentäkoteloa voidaan käyttää kaapeleiden 360 ° maadoituksen toteuttamiseen. Koteloon asennettavan taajuusmuuttajan kanssa kytkentäkoteloa ei ole välttämätöntä käyttää, jos kotelo itsessään on maadoitettu. Jos kytkentäkotelo jätetään näin ollen asennamatta, tulee kaapelisuojaosajappojen 360 ° maadoitus toteuttaa kotelon kaapelisisääntulojen kohdalla. [25]

## 8. YHTEENVETO

Norelcon asiakkaat määrittävät alihankkijoidensa avustuksella sähkötyösuunnitelman ja tämän mukaan kaavaillun keskuksen pää- ja piirikaaviot. Tilattu keskus taas tulee kokoonpanna suunnitellun pääkaavion mukaisesti ja pyrkiä toteuttamaan myös kaaviossa mahdollisesti vaaditun taajuusmuuttajan asennus keskukseen asiakkaan näin halutessa. Asentamisessa tulee ottaa huomioon keskuksen mahdollinen ylimääräinen ja normaalista poikkeava lämpenemä sekä taajuusmuuttajan vaikutus keskuksen sähkömagneettiseen yhteensopivuuteen.

Sähkökäyttöjen suunnittelussa tulee tarkastella prosessin vaatimuksia ja mitoittaa nopeuden hallintaan perustuvissa sovelluksissa taajuusmuuttajakäyttö näiden vaatimusten mukaan. Sähkökäyttöjen suunnittelu perustuu pitkälti kustannustehokkaimman ratkaisun löytämiseen ja prosessin optimoimiseen. Taajuusmuuttajakäytön osat riippuvat kuormituksen tyypistä ja osien vertailussa kiinnitetään huomiota varsinkin momentin, tehon ja kierrosluvun välisiin yhteyksiin. Prosessin vaatiman oikosulkumoottorin kuormitettavuus määrää suurilta osin muiden komponenttien mitoitus. Oikosulkumoottorin momentin profiilin avulla laskettu mitoitusvirta antaa arvon, johon taajuusmuuttajan virtarajoja verrataan. Toisen mitoitusarvon taajuusmuuttajalle antaa käytettävä syöttöjännite ja sen vaihtelut. Moottorin haluttu käynnistystapa taas määrittelee taajuusmuuttajan minimitaajuuden.

Keskuksen jäähdytystarve ja tarpeen mukainen puhallusteho voidaan määrittää työssä esitellyillä lämpenemän hallintaan kykenevillä ohjelmistoilla pitkäaikaisen testaamisen sijaan. Lämpenemän todentaminen tehdasympäristössä testaamalla on myös keskusten nimellisvirtojen kannalta epäedullinen ja lähes mahdoton tapa. Asiakkaan vaatima IP-luokitus tilaamalleen keskukselle on asia, joka vaikeuttaa huomattavasti lämpenemän hallintaa. Ohjelmistojen avulla saadaan keskukselle tietty lämpenemän arvo ja suosituksia jäähdytysjärjestelmän kannalta, mutta myös jäähdytysjärjestelmän tulee täyttää keskukselta vaadittu IP-luokka. Oikean jäähdytysjärjestelmän löytäminen korkean IP-luokan keskukseen vaatii siis lähempää tutustumista jäähdytysjärjestelmien toimittajien tuotteisiin ja keskuksen materiaalien sekä komponenttien tarkkaa syöttämistä lämpenemän hallintaohjelmaan.

Sähkömagneettinen yhteensopivuus varmistetaan riittävällä EMC-häiriönpoistolla. EMC-häiriönpoistossa taas pyritään estämään EMC-häiriöiden kytkeytymistä EMC-häiriölähteestä muihin komponentteihin ja häiriölähteen kaapeleista muihin kaapeleihin. Kotelon sähkömagneettisen yhteensopivuuden parantamiseksi pyritään mahdollistamaan Faradayn häkin muodostuminen ja jatkuvuus koko kotelon osalta. Taajuusmuuttajien runko vaimentaa useimmissa tapauksissa riittävästi taajuusmuuttajan EMC-säteilyä, mutta Faradayn häkin jatkuminen taajuusmuuttajasta lähtevien kaapeleiden suhteen tulee

varmistaa suojatuilla kaapeleilla sekä EMC-tiivistelaipoilla ja -holkeilla. Kotelon tulee olla johtava ja johtavassa yhteydessä muun keskuksen ja suojamaadoituksen kanssa. Kaapeloinnissa varsinkin kaapeleiden suojavaipan maadoitus on toteutettava asennusohjeiden mukaisesti. Kaapeloinnin helpottamiseksi moni taajuusmuuttajavalmistaja tarjoaa tai toimittaa tuotteidensa mukana yhteensopivia holkkeja, asennuslevyjä sekä muita maadoitustarvikkeita. Kotelon aukot voivat vuotaa EMC-säteilyä ulos kotelosta, joten ennen aukkojen tekemistä tulee aukkojen sallitut koot varmistaa.

Taajuusmuuttajavalmistajat Siemens, Danfoss ja ABB antavat taajuusmuuttajiensa käyttöohjeissa tarkkoja asennusohjeita, jotta komponenttien ylimääräiseltä lämpenemiseltä ja EMC-häiriöiden kytkeytymisiltä vältytään. Huomattavimpia eroja häiriönpoiston teorian ja eri valmistajien käyttöohjeiden välillä ovat eri kaapeleiden vaadittu etäisyys toisistaan. Valmistajien täytyy olla varmoja riittävästä etäisyydestä kaapeleiden välillä, joten erot selittyvät eri valmistajien käyttämällä varmuusmarginaaleilla. Siemensin taajuusmuuttajat perustuvat modulaarisuuteen ja taajuusmuuttajakokonaisuuden osia voi tarpeen tullen helposti vaihtaa. Erilaisiin syöttöympäristöihin ja käyttöihin on myös saatavilla erikseen tilattavia lisäkomponentteja, joilla parannetaan taajuusmuuttajan toimintaa esimerkiksi yliaaltoja ja niiden vaikutusta pienentämällä. Kookkain osa Siemensin taajuusmuuttajassa on tehoduuli, joka myös määrää lämpenemisellään asennustilan koon. Teho- ja ohjauskaapeleiden kytkeminen on selkeästi kuvattu asennusohjeissa ja ohjeita noudattamalla pystytään sähkömagneettisesta yhteensopivuudesta varmistumaan. Jäähdytyksen kannalta parempia ratkaisuja ovat Siemensin IP54-luokituksen taajuusmuuttajat, jotka voidaan asentaa esimerkiksi kotelon kannesta läpi. Nämä eivät kuitenkaan välttämättä ole aina soveltuvia asiakkaan suunnittelemaan sähkökäyttöön.

Danfossin taajuusmuuttajista työssä käsiteltiin sarjoja Vacon 10, Vacon 20 ja Vacon 100. Näiden asentamiseen voidaan käyttää joko DIN-asennuskiskoa tai Vacon 100 -sarjalla kaulusasennusta esimerkiksi kotelon oven läpi. Kaulusasennuksia varten voidaan tilata erillinen asennuskehikko, jonka käytöllä vaaditun IP-luokan toteuttaminen helpottuu samaan tapaan kuin Danfossin läpiasennettavilla taajuusmuuttajilla. Vacon 100 -sarjaa on myös saatavilla IP00-luokassa, joka on juuri koteloasennuksia varten suunniteltu. Danfossin taajuusmuuttajien käyttökelpoisuusluokitusta voidaan helposti muuttaa luokasta C2 luokkaan C4 tarpeen mukaan, mutta muutos täytyy ottaa pysyvänä huomioon. Teho- ja ohjauskaapeleiden tyypit ja sallitut paksuudet on dokumentoitu selkeästi asennusohjeisiin. Kotelossa tapahtuvassa kaapeleiden kuljetuksessa tulee huomioida teho- ja ohjauskaapeleiden risteäminen sekä kaapeleiden kulkeminen mahdollisimman lähellä johtavaa pintaa.

ABB suosittelee ensisijaisesti asentamaan valmistamansa taajuusmuuttajat seinälle. Tiloi-  
loissa, joissa on roiskeveden tai epäpuhtauksien mahdollisuus, suositellaan kuitenkin IP21-luokan taajuusmuuttajat asentamaan koteloihin. Ilmankierto ja jäähdytysilman ohjaaminen on esitetty tarkasti koteloasennuksiin sopivien taajuusmuuttajien asennusoh-

jeissa. Tehokkaamman jäähdytyksen aikaansaamiseksi voidaan joissain ABB:n taajuusmuuttajissa jättää moduulin kansi asentamatta. Kaapelivaatimukset ovat joiltain osin erilaiset kuin Danfossin asennusohjeissa, mutta esimerkiksi ohjauskaapelointiin käy saman tyyppinen kaapeli. Asennusohjeista löytyy myös EMC-suotimen irtikytkeksen ohjeet, jos asiakas tällaista ennen toimitusta vaatii.

Norelcon NorPower 5000 -kennokeskusjärjestelmät soveltuvat taajuusmuuttaja-asennuksiin modulaarisuutensa kannalta hyvin. Taajuusmuuttajille voidaan tarpeen tullen varata kokonaisia tyhjiä kenttiä, jotta asennusohjeissa esitetyt tilat jäähdytysilmankierron varmistamiseksi tulevat keskukseen varattua. Kenttäleveydet raskaissa kennokojeistoissa ovat syöttö- ja lähtökentille 730 mm ja kaapelikuiluille 350 mm. Asennustilan korkeus on yhteensä 2050 mm, joka voidaan kansijaolla jaotella pienempiin osastoihin. Optimaalisen jaon taajuusmuuttajakentässä määrittelee taajuusmuuttajan koko sekä sen vaatimat tilat. Lisäksi jakoon vaikuttaa ohjauskomponenttien ja sulakkeiden lisäys kenttään. Usein taajuusmuuttajien asennusohjeissa ei oteta huomioon muita komponentteja samassa kentässä. Jäähdytyksen kannalta suositellaankin asentamaan muut komponentit omiin kenttiinsä tai lisäämään puhallustehoa taajuusmuuttajakentässä. Tilava ja muunneltava keskus antaa mahdollisuuden hyvin monenlaisten ja -kokoisten taajuusmuuttajien asentamiseen. NorPower 5000 -kennokojeistot kootaan kuitenkin vakio-osista ja kenttäkoot on vakioitu. Näin ollen, jos taajuusmuuttaja ei kenttään sovellu asennusohjeiden mukaisten tilavarausten, taajuusmuuttajan koon tai riittämättömän maksimijäähdytyksen takia, tulee asiakkaan kanssa neuvotella uusi ratkaisu.

## LÄHTEET

- [1] Suomen Standardoimisliitto SFS ry, SFS-EN 61439 Pienjännitekeskukset, SFS-käsikirja 640 Sähkökeskukset, 1. painos, Tammikuu 2016.
- [2] ABB Oy, Tekninen opas nro 7: Sähkökäytön mitoitus. Viitattu 10.1.2017. Saatavissa: [https://library.e.abb.com/public/b11d4fe92973be93c1256d2800415027/Tekninen\\_opasnro7.pdf](https://library.e.abb.com/public/b11d4fe92973be93c1256d2800415027/Tekninen_opasnro7.pdf)
- [3] ABB Oy, TTT-käsikirja, Luku 18: Sähkösäätötorikäytöt. Viitattu 10.1.2017. Saatavissa: [http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/18\\_S%84hk%94mootorik%84yt%94t.pdf](http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/18_S%84hk%94mootorik%84yt%94t.pdf)
- [4] E. Tison, Schneider Electric – Electrical installation guide according to IEC international standards, 2016. Viitattu 15.1.2017. Saatavissa: <http://www.schneider-electric.com/b2b/en/products/product-launch/electrical-installation-guide/>
- [5] Euroopan parlamentti, Euroopan unionin neuvosto, Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2014/30/EU sähkömagneettista yhteensopivuutta koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön yhdenmukaistamisesta. Viitattu 25.1.2017. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/ALL/?uri=CELEX:32014L0030>
- [6] T. Williams, K. Armstrong, EMC for Systems and Installations, Newnes, Oxford, 1999.
- [7] T. Williams, EMC for Product Designers (Fourth Edition), Newnes, Oxford, 2007.
- [8] ABB Oy, Tekninen opas nro 4: Nopeussäädettyjen käyttöjen opas. Viitattu 4.3.2017. Saatavissa: [https://library.e.abb.com/public/32f0404329db7689c1256d2800411f0a/Tekninen\\_opas\\_nro4.pdf](https://library.e.abb.com/public/32f0404329db7689c1256d2800411f0a/Tekninen_opas_nro4.pdf)
- [9] ABB Oy, Tekninen opas nro 8: Sähköinen jarrutus. Viitattu 1.4.2017. Saatavissa: [https://library.e.abb.com/public/2e30f9c0e2d07b9ac1256d28004152df/Tekninen\\_opasnro8.pdf](https://library.e.abb.com/public/2e30f9c0e2d07b9ac1256d28004152df/Tekninen_opasnro8.pdf)
- [10] S. Hieta-Wilkman, H. Erkinheimo, Taajuusmuuttajat: käyttö, asennus, häiriöt, Sähköinfo, 1997.
- [11] M. Björkman, A. Honkala, EMC ja rakennusten sähkötekniikka, Sähköinfo, 2008.
- [12] Suomen Standardoimisliitto SFS ry, SFS-EN 61800-3 Adjustable speed electrical power drive systems part 3: EMC requirements and specific test methods, 2004.



- [13] ABB Oy, Tekninen opas nro 3: PDS-käyttöjen asennus ja kokoonpano EMC-vaatimusten mukaan. Viitattu 25.3.2017. Saatavissa: [https://library.e.abb.com/public/bb3f0dff646d5948c1256d2800411386/Technical-GuideNo\\_3FI.pdf](https://library.e.abb.com/public/bb3f0dff646d5948c1256d2800411386/Technical-GuideNo_3FI.pdf)
- [14] Schneider Electric USA, Inc., Universal Enclosures, 2016. Viitattu 2.4.2017. Saatavissa: [http://download.schneider-electric.com/files?p\\_enDocType=Catalog&p\\_File\\_Id=6669721496&p\\_File\\_Name=UE16MK15EN+%28web%29.pdf&p\\_Reference=UE16MK15EN](http://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Id=6669721496&p_File_Name=UE16MK15EN+%28web%29.pdf&p_Reference=UE16MK15EN)
- [15] Rittal GmbH & Co. KG, Rittal Therm User Manual Version 6.3, Lokakuu 2014. Saatavissa: [https://www.rittal.com/imf/none/5\\_706/](https://www.rittal.com/imf/none/5_706/)
- [16] Siemens AG, SIMARIS therm calculation tool, Marraskuu 2016. Saatavissa: <https://www.siemens.com/content/dam/webassetpool/mam/tag-siemens-com/smdb/digital-factory/integrated-control-panels/dfcp-b10055-01-7600-sb-be-rechnungstool-simaris-therm-en.pdf>
- [17] Siemens AG, Operating Manual SIMARIS, Marraskuu 2016. Saatavissa: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109744553/simaris-software-simaris-therm-planning-tool?dti=0&lc=en-WW>
- [18] ABB Oy, OTC Overtemperature calculation tool – User Guide, Lokakuu 2014. Saatavissa: [https://library.e.abb.com/public/3e31b62dcd6dd963c1257d7b0055a173/OTC\\_EN.pdf](https://library.e.abb.com/public/3e31b62dcd6dd963c1257d7b0055a173/OTC_EN.pdf)
- [19] Siemens AG, SINAMICS Variable Speed Drive for pumps and fans G120P., Lokakuu 2014. Saatavissa: <https://hit.sbt.siemens.com/RWD/app.aspx?RC=FI&lang=fi&MODULE=Catalog&ACTION=ShowProduct&KEY=BPZ%3aG120P..AE..A..>
- [20] Siemens AG, SINAMICS G120 low voltage converters: Operating instructions, Huhtikuu 2015. Saatavissa: <https://hit.sbt.siemens.com/RWD/app.aspx?RC=FI&lang=fi&MODULE=Catalog&ACTION=ShowProduct&KEY=BPZ%3aG120P..AE..A..>
- [21] Vacon Plc., Vacon 10 Taajuusmuuttajat: Käyttöohje, 2012. Saatavissa: [http://www.vacon.com/ImageVaultFiles/id\\_5867/cf\\_2/9%20Parametrikuvaukset.pdf](http://www.vacon.com/ImageVaultFiles/id_5867/cf_2/9%20Parametrikuvaukset.pdf)
- [22] Vacon Plc., Vacon 20 Taajuusmuuttajat: Käyttäjän Käsikirja, 2013. Saatavissa: [http://www.vacon.com/ImageVaultFiles/id\\_5705/cf\\_2/Vacon-20-Complete-Manual-DPD01319F1-FI.PDF](http://www.vacon.com/ImageVaultFiles/id_5705/cf_2/Vacon-20-Complete-Manual-DPD01319F1-FI.PDF)

- [23] Vacon Plc, Vacon 100 HVAC-taajuusmuuttajat: Asennusopas, 2012. Saatavissa: [http://www.vacon.com/ImageVaultFiles/id\\_4796/cf\\_2/Vacon-100-HVAC-Installation-Manual-DPD00504G-FI.PDF](http://www.vacon.com/ImageVaultFiles/id_4796/cf_2/Vacon-100-HVAC-Installation-Manual-DPD00504G-FI.PDF)
- [24] Vacon Plc, Vacon 100 Industrial, Vacon 100 Flow Taajuusmuuttajat: Asennusopas, IP00-taajuusmuuttajamoduulit, 2016, Viitattu 15.4.2017. Saatavissa: <http://drivesliterature.danfoss.com/showDetails.action?doctype=TLI&docid=00000000000000300000006787&version=A1&language=FI#>
- [25] ABB Oy, Käyttäjän opas: ACH550-01-taajuusmuuttajat, Heinäkuu 2014. Saatavissa: [https://library.e.abb.com/public/6645da5f15ce68dcc1257d550050f303/FI\\_ACH550-01\\_UM\\_G\\_A4\\_screen.pdf](https://library.e.abb.com/public/6645da5f15ce68dcc1257d550050f303/FI_ACH550-01_UM_G_A4_screen.pdf)
- [26] ABB Oy, ACS800 Laiteopas, Kesäkuu 2013. Saatavissa: [https://library.e.abb.com/public/bc76f338d0f2f7f2c1257c16004c6825/FI\\_ACS800-01\\_HW\\_K\\_A4\\_screen.pdf](https://library.e.abb.com/public/bc76f338d0f2f7f2c1257c16004c6825/FI_ACS800-01_HW_K_A4_screen.pdf)



# LIITE B: SÄHKÖKÄYTTÖLÄHTÖJEN ESIMERKKIPIIRIKAAVIO

